



**Bruna Raquel  
Figueiredo Oliveira**

## **Cemitérios: Impacte nas Águas Subterrâneas**



**Bruna Raquel  
Figueiredo Oliveira**

## **Cemitérios: Impacte nas Águas Subterrâneas**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Luís Manuel Guerreiro Alves Arroja, Professor Associado do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro e co-orientação da Engenheira Carla Maria Reis Caetano, do Departamento de Ambiente da Câmara Municipal de Loures.

## **o júri**

presidente

**Prof. Doutora Ana Isabel Couto Neto da Silva Miranda**

professora associada do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

**Prof. Doutor Eduardo Anselmo Ferreira da Silva**

professor catedrático do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro

**Prof. Doutor Luís Manuel Guerreiro Alves Arroja**

professor associado do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

**Eng. Carla Maria Reis Caetano**

Departamento de Ambiente da Câmara Municipal de Loures

## **agradecimentos**

Ao meu orientador, Professor Doutor Luís Arroja, à minha co-orientadora, Engenheira Carla Caetano e ao Professor Doutor Marques da Silva, pelo conhecimento partilhado, dedicação e incentivo.

A todos os que, directa ou indirectamente, partilharam os seus trabalhos e conhecimentos, possibilitando a concretização desta Dissertação de Mestrado.

À minha família e a todos os meus amigos, em especial ao RS e à AR, pela amizade, presença, compreensão, carinho e paciência!

A todos os que me apoiaram e incentivaram nas fases menos produtivas deste percurso académico...

**palavras-chave**

Unidades Cemiteriais, Águas Subterrâneas, Contaminação

**resumo**

A adopção de práticas sustentáveis na selecção da localização e na exploração de unidades cemiteriais (UC) minimiza o risco de contaminação de águas subterrâneas, de acordo com os ensinamentos recolhidos a partir do registo de casos de estudo.

A adequabilidade de um local para a instalação de UC depende de factores geológicos, hidrogeológicos, climáticos, religiosos e culturais, para que se garanta a sua sustentabilidade e a protecção do ambiente. Dado que existem numerosas combinações destes factores, cada local deve ser analisado num plano individual, não se podendo uniformizar casos de estudo. Após a avaliação e escolha de um local adequado, deverão ser analisadas as eventuais correcções e medidas minimizadoras do potencial de poluição e de adaptação às condições geoambientais.

Este trabalho resume as condições geológicas e ambientais responsáveis por impactes ambientais negativos e estabelece as condições mínimas a verificar na instalação de UC.

**keywords**

Cemeteries, Groundwater, Pollution

**abstract**

The adoption of sustainable practices in the selection of the location and management of cemeteries minimizes the risk of groundwater pollution, in accordance with the teachings collected on the reports of study cases.

The suitability of a place for the installation of a cemetery depends on geological, hydro-geological, climatic, religious and cultural aspects, so that the sustainability and the environmental protection will be guaranteed. As there are numerous combinations of those factors, each place should be revised at an individual plan and the study cases should not be standardized. After the evaluation and choice of the most suitable place, the possible corrections, measures to limit the pollution potential and adaptations to the geological and environmental conditions should be analysed.

This work summarizes the geological and environmental conditions responsible for negative environmental impacts and establishes the minimum conditions to the installation of a cemetery.

# Índice

ÍNDICE .....	i
ÍNDICE DE TABELAS .....	iii
TERMOS E DEFINIÇÕES .....	1
1. INTRODUÇÃO .....	5
2. OBJECTIVOS .....	7
3. HISTÓRIA DAS UNIDADES CEMITERIAIS EM PORTUGAL .....	7
4. TIPOS DE UNIDADES CEMITERIAIS.....	9
4.1. UNIDADE CEMITERIAL TRADICIONAL (CONVENCIONAL, CLÁSSICA OU HORIZONTAL).....	9
4.2. UNIDADE CEMITERIAL TIPO PARQUE (OU JARDIM).....	10
4.3. UNIDADE CEMITERIAL VERTICAL .....	11
4.4. UNIDADE CEMITERIAL NATURAL.....	11
4.5. CREMATÓRIOS .....	11
5. CONDIÇÕES DE FUNCIONAMENTO DE UNIDADES CEMITERIAIS.....	13
6. PRÁTICAS FUNERÁRIAS .....	15
7. COMPOSIÇÃO DO CORPO HUMANO .....	17
8. PROCESSOS DE TRANSFORMAÇÃO DE CADÁVERES .....	19
8.1. FENÓMENOS ABIÓTICOS IMEDIATOS .....	19
8.2. FENÓMENOS ABIÓTICOS MEDIATOS .....	19
8.3. FENÓMENOS ABIÓTICOS TARDIOS.....	19
8.3.1. <i>Fenómenos transformativos destrutivos</i> .....	19
8.3.1.1. Autólise.....	19
8.3.1.2. Putrefacção.....	20
8.3.1.2.1. Período de Coloração.....	20
8.3.1.2.2. Período Enfisematoso .....	20
8.3.1.2.3. Período de Liquefacção.....	20
8.3.1.2.4. Período de Esqueletização .....	21
8.3.1.3. Maceração .....	21
8.3.2. <i>Fenómenos Transformativos Conservativos</i> .....	21
8.3.2.1. Saponificação .....	21
8.3.2.2. Mumificação .....	23
8.3.2.3. Calcificação.....	23
8.3.2.4. Corificação.....	23
8.3.2.5. Congelação.....	23
9. DECOMPOSIÇÃO DE CADÁVERES .....	25
9.1. COMPOSIÇÃO DO MIASMA .....	27
9.2. AGENTES CAUSADORES DE DOENÇAS DE VEICULAÇÃO HÍDRICA .....	28
9.3. MELHOR DESTINO PARA CADÁVERES ATÍPICOS .....	30
10. ÁGUA SUBTERRÂNEA .....	31
10.1. SOLO .....	31
10.2. ÁGUA NO SOLO.....	32
10.3. TIPOS DE AQUÍFEROS .....	33
10.4. RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS EM PORTUGAL.....	39
10.4.1. <i>Maciço Hespérico (também designado por Antigo ou Ibérico)</i> .....	39
10.4.2. <i>Orla Mesocenozóica Ocidental e Orla Mesocenozóica Meridional</i> .....	40
10.4.3. <i>Bacia do Tejo e do Sado</i> .....	41
10.4.4. <i>Ilhas atlânticas</i> .....	42
10.5. CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA .....	44
10.6. IMPORTÂNCIA DA PROTECÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS .....	48

11.	IMPACTE AMBIENTAL DE UNIDADES CEMITERIAIS.....	51
12.	CONDIÇÕES IDEAIS PARA A DECOMPOSIÇÃO.....	53
12.1.	TEMPERATURA .....	53
12.2.	HUMIDADE E NÍVEL FREÁTICO .....	53
12.3.	ZONA NÃO SATURADA .....	54
12.4.	TOPOGRAFIA.....	56
12.5.	QUALIDADE DOS SOLOS PARA INUMAÇÃO.....	56
12.6.	MATERIAIS .....	66
12.7.	ZONAS VERDES .....	66
12.8.	RESÍDUOS CEMITERIAIS .....	67
12.9.	MEDIDAS DE PROTECÇÃO E PREVENÇÃO.....	67
13.	ESTUDOS A CONSIDERAR NA ESCOLHA DE LOCAIS PARA UNIDADES CEMITERIAIS	69
14.	CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS POR UNIDADES CEMITERIAIS.....	73
15.	TRANSPORTE E RETENÇÃO DE CONTAMINANTES NO SOLO E NA ÁGUA SUBTERRÂNEA .....	77
16.	SAÚDE DE FUNCIONÁRIOS QUE MANIPULAM CADÁVERES E RESÍDUOS CEMITERIAIS .....	89
17.	REVISÃO LEGISLATIVA.....	93
17.1.	UNIDADES CEMITERIAIS .....	93
17.2.	RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS .....	96
17.3.	SEGURANÇA, HIGIENE E SAÚDE NO TRABALHO.....	98
17.4.	NORMAS PORTUGUESAS .....	99
18.	ANÁLISE DE ESTUDOS DE CASO COM IMPACTES AMBIENTAIS NEGATIVOS .....	101
19.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	111
20.	BIBLIOGRAFIA .....	113



## Índice de Figuras

FIGURA 1: TIPOS DE AQUÍFERO.....	34
FIGURA 2: EXEMPLOS DE AQUÍFEROS .....	35
FIGURA 3: UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS DE PORTUGAL CONTINENTAL .....	39
FIGURA 4: PERÍMETROS DE PROTECÇÃO. ....	49
FIGURA 5: TEOR DE ÁGUA, AR E MATÉRIA SÓLIDA DE SOLOS NÃO COMPACTADOS. ....	57
FIGURA 6: TEOR DE ÁGUA, AR E MATÉRIA SÓLIDA DE SOLOS COMPACTADOS.....	57
FIGURA 7: AREJAMENTO E NÍVEL FREÁTICO EM SOLOS NÃO COMPACTADOS.....	58
FIGURA 8: AREJAMENTO E NÍVEL FREÁTICO EM SOLOS COMPACTADOS.....	59
FIGURA 9: DISTRIBUIÇÃO DE TEXTURA E PERMEABILIDADE À ÁGUA I.....	60
FIGURA 10: DISTRIBUIÇÃO DE TEXTURA E PERMEABILIDADE À ÁGUA II. ....	61
FIGURA 11: QUALIFICAÇÃO DE SOLOS PARA INUMACÃO. ....	65

## Índice de Tabelas

TABELA 1: COMPOSIÇÃO ELEMENTAR DE UM CORPO HUMANO COM 70 KG. ....	17
TABELA 2: PERCENTAGEM DE MATÉRIA DEGRADÁVEL DO CADÁVER CONFINADO. ....	17
TABELA 3: PATOGÉNICOS HUMANOS ENCONTRADOS EM ÁGUA.....	29
TABELA 4: CLASSES DE SOLO DE ACORDO COM O DIÂMETRO DAS PARTÍCULAS QUE O CONSTITUEM.....	36
TABELA 5: VALORES TÍPICOS DE POROSIDADE. ....	37
TABELA 6: VALORES REPRESENTATIVOS DO RENDIMENTO ESPECÍFICO DE SEDIMENTOS NÃO CONSOLIDADOS. ....	38
TABELA 7: TEMPO DE SOBREVIVÊNCIA DE ALGUNS MICRORGANISMOS NO SOLO. ....	83
TABELA 8: ANÁLISE DE ESTUDOS DE CASO COM IMPACTES AMBIENTAIS NEGATIVOS I.....	103
TABELA 9: ANÁLISE DE ESTUDOS DE CASO COM IMPACTES AMBIENTAIS NEGATIVOS II.....	104
TABELA 10: ANÁLISE DE ESTUDOS DE CASO COM IMPACTES AMBIENTAIS NEGATIVOS III.....	105
TABELA 11: ANÁLISE DE ESTUDOS DE CASO COM IMPACTES AMBIENTAIS NEGATIVOS IV .....	106
TABELA 12: ANÁLISE DE ESTUDOS DE CASO COM IMPACTES AMBIENTAIS NEGATIVOS V.....	107
TABELA 13: ANÁLISE DE ESTUDOS DE CASO COM IMPACTES AMBIENTAIS NEGATIVOS VI .....	108
TABELA 14: ANÁLISE DE ESTUDOS DE CASO COM IMPACTES AMBIENTAIS NEGATIVOS VII.....	109

## Termos e Definições

Acessórios<sup>1</sup>: adornos colocados no interior da urna, tais como, argolas, cruz, crucifixo, etc.

Adereço<sup>1</sup>: materiais em tecido utilizados no interior da urna, tais como, acolchoado, lençóis, tule, etc.

Aeróbio<sup>2</sup>: processo biológico que ocorre na presença de oxigénio.

Anaeróbio<sup>2</sup>: processo biológico que ocorre na ausência de oxigénio livre.

Aquífero<sup>3</sup>: uma ou mais camadas subterrâneas de rocha ou outros estratos geológicos suficientemente porosos e permeáveis para permitirem um escoamento significativo de águas subterrâneas ou a captação de quantidades significativas de águas subterrâneas.

Bacia hidrográfica<sup>3</sup>: a área terrestre a partir da qual todas as águas fluem para o mar, através de uma sequência de rios, ribeiros ou eventualmente lagos, desaguardo numa única foz, estuário ou delta.

Cadáver<sup>9</sup>: o corpo humano após a morte, até estarem terminados os fenómenos de destruição da matéria orgânica.

Cendrário<sup>4</sup>: área ajardinada para a deposição de cinzas.

Columbário<sup>5</sup>: compartimento com nichos para colocar urnas, contendo cinzas.

Concentração natural<sup>6</sup>: o valor de uma substância ou de um indicador numa massa de água subterrânea correspondente à ausência de modificações antropogénicas ou apenas a modificações antropogénicas diminutas relativamente a condições inalteradas.

Consumção aeróbia<sup>1</sup>: acto ou efeito de decomposição do cadáver por um processo controlado que utiliza oxigénio.

Contaminação<sup>2</sup>: invasão de um determinado meio por elementos poluidores ou radioactivos.

Cremação<sup>7</sup>: a redução de cadáver ou ossadas a cinzas.

Danos causados à água<sup>8</sup>: quaisquer danos que afectem adversa e significativamente, nos termos da legislação aplicável, o estado ecológico, ou o potencial ecológico, e o estado químico e quantitativo das massas de água superficial ou subterrânea, designadamente o potencial ecológico das massas de água artificial e muito modificada, com excepção dos danos às águas e os efeitos adversos aos quais seja aplicável o regime da Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro, e respectiva legislação complementar.

Danos causados ao solo<sup>8</sup>: qualquer contaminação do solo que crie um risco significativo para a saúde pública devido à introdução, directa ou indirecta, no solo ou à sua superfície, de substâncias, preparações, organismos ou microrganismos.

Emissão<sup>8</sup>: libertação para o ambiente de substâncias, preparações, organismos ou microrganismos, que resulte de uma actividade humana.

Entidade responsável pela administração de um cemitério<sup>9</sup>: a câmara municipal ou a junta de freguesia e entidades particulares, consoante o cemitério em causa pertença ao município, à freguesia ou a particulares.

Estado inicial<sup>8</sup>: a situação no momento da ocorrência do dano causado aos recursos naturais e aos serviços, que se verificaria se o dano causado ao ambiente não tivesse ocorrido, avaliada com base na melhor informação disponível.

Exumação<sup>9</sup>: a abertura de sepultura, local de consumpção aeróbia ou caixão de metal onde se encontra inumado o cadáver.

Introdução de poluentes na água subterrânea<sup>6</sup>: a entrada directa ou indirecta de poluentes na água subterrânea resultante da actividade humana.

Inumação<sup>9</sup>: a colocação de cadáver em sepultura, jazigo ou local de consumpção aeróbia.

Jazigo<sup>4</sup>: pequenas edificações, incluindo capelas (destinadas a sepultar várias pessoas geralmente da mesma família), nichos de decomposição aeróbia, ossários e columbários.

Lixiviação<sup>2</sup>: separação dos princípios solúveis contidos em certas substâncias, por meio de lavagem.

Mausoléu<sup>2</sup>: construção que aloja túmulos, tendo originado uma tipologia arquitectónica dentro da arte funerária ou cemiterial. Actualmente está em desuso.

Medidas de prevenção<sup>8</sup>: quaisquer medidas adoptadas em resposta a um acontecimento, acto ou omissão que tenha causado uma ameaça iminente de danos ambientais, destinadas a prevenir ou minimizar ao máximo esses danos.

Medidas de reparação<sup>8</sup>: qualquer acção, ou conjunto de acções, incluindo medidas de carácter provisório, com o objectivo de reparar, reabilitar ou substituir os recursos naturais e os serviços danificados ou fornecer uma alternativa equivalente a esses recursos ou serviços, tal como previsto no Anexo V do DL n.º 147/2008.

Miasma<sup>10</sup>: exalação pútrida que emana de cadáveres, animais ou vegetais em decomposição.

Monitorização da água<sup>3</sup>: processo de recolha e processamento de informação sobre as várias componentes do ciclo hidrológico e elementos de qualidade para a classificação do estado das águas, de forma sistemática, visando acompanhar o comportamento do sistema ou um objectivo específico.

Norma de qualidade da água subterrânea<sup>6</sup>: concentração de um dado poluente, grupo de poluentes ou indicador de poluição na água subterrânea que, tendo em vista a protecção da saúde pública e do ambiente, não deverá ser excedida.

Ordenamento de polícia<sup>4</sup>: organização numérica de sepulturas e talhões.

Ossadas<sup>9</sup>: o que resta do corpo humano uma vez terminado o processo de mineralização do esqueleto.

Poluição da água<sup>3</sup>: a introdução directa ou indirecta, em resultado da actividade humana, de substâncias ou de calor no ar, na água ou no solo que possa ser prejudicial para a saúde pública ou para a qualidade dos ecossistemas aquáticos ou dos ecossistemas terrestres daqueles directamente dependentes, que dê origem a prejuízos para bens materiais ou que prejudique ou interfira com o valor paisagístico ou recreativo ou com outras utilizações legítimas do ambiente.

Qualidade da água para consumo humano<sup>3</sup>: conjunto de valores de parâmetros físicos, químicos, biológicos e microbiológicos da água que permite avaliar a sua adequação como origem de água para a produção de água para consumo humano, nos termos dos artigos 13.º a 19.º do DL n.º 236/98 de 1 de Agosto.

Recurso natural<sup>8</sup>: as espécies e habitats naturais protegidos, a água e o solo.

Regeneração dos recursos naturais<sup>8</sup>: o regresso dos recursos naturais e dos serviços danificados ao seu estado inicial, e no caso dos danos causados ao solo, a eliminação de quaisquer riscos significativos que afectem adversamente a saúde pública.

Região hidrográfica<sup>3</sup>: a área de terra e de mar constituída por uma ou mais bacias hidrográficas contíguas e pelas águas subterrâneas e costeiras que lhes estão associadas, constituindo-se como a principal unidade para a gestão das bacias hidrográficas.

Sepultura<sup>2</sup>: lugar ou cova onde se deposita um cadáver.

Sistema aquífero<sup>3</sup>: domínio espacial de uma ou várias formações geológicas, limitado em superfície e em profundidade, que define um ou vários aquíferos, relacionados ou não entre si, e que constitui uma unidade prática para a exploração de águas subterrâneas.

Tanatopraxia<sup>10</sup>: técnica de conservação de cadáveres.

Túmulo<sup>10</sup>: construção geralmente de mármore, com lápide e/ou esculturas, vasos, entre outros, erguida sobre sepultura como uma homenagem à memória do(s) cadáver(s) ali inumado(s), que pode servir para vários membros ou gerações de uma mesma família.

Trasladação<sup>9</sup>: o transporte de cadáver inumado em jazigo ou de ossadas para local diferente daquele em que se encontram, a fim de serem de novo inumados, cremados ou colocados em ossário.

Valores limite de emissão<sup>3</sup>: a massa, expressa em termos de determinados parâmetros específicos, a concentração ou o nível de uma emissão que não podem ser excedidos em certos períodos de tempo, a definir em normativo próprio.

Viatura e recipiente apropriados<sup>9</sup>: aqueles em que seja possível proceder ao transporte de cadáveres, ossadas, cinzas, fetos mortos ou recém-nascidos falecidos no período neo-natal precoce, em condições de segurança e de respeito pela dignidade humana.

---

<sup>1</sup> prNP 4471-1 2007

<sup>2</sup> [www.infopedia.pt](http://www.infopedia.pt)

<sup>3</sup> Decreto-Lei n.º. 58/2005, de 29 de Dezembro

<sup>4</sup> Comunicação pessoal

<sup>5</sup> NP EN 15017 2007

<sup>6</sup> Decreto-Lei n.º. 208/2008, de 28 de Outubro

<sup>7</sup> Decreto-Lei n.º. 411/98, de 30 de Setembro

<sup>8</sup> Decreto-Lei n.º. 147/2008, de 29 de Julho

<sup>9</sup> Decreto-Lei n.º. 411/98, de 30 de Setembro

<sup>10</sup> Dicionário Houaiss

## 1. Introdução

A questão da morte começou a ser alvo de estudos sociológicos e estudos interdisciplinares nas áreas de antropologia, arte, literatura, medicina, filosofia, psiquiatria e religião, em meados do século XX. Só recentemente se iniciaram estudos associados à componente ambiental, dada a dificuldade em ultrapassar os efeitos psicológicos e valores sociais e culturais associados, apesar da existência de alguns registos históricos de contaminação de águas subterrâneas por unidades cemiteriais (UC). As alterações de actuação têm sido justificadas pelo crescimento demográfico e pela evolução do conhecimento científico, que remetem para novas áreas de intervenção na preservação e protecção das populações e do ambiente contra os efeitos dos contaminantes advindos da decomposição de cadáveres.

O Centro de Pesquisa de Águas Subterrâneas (CEPAS), do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, Brasil, foi pioneiro, ao nível internacional, na pesquisa dos impactes das UC no ambiente (Rodrigues, 2002).

No passado, a proximidade da população às UC não costumava atrair moradores devido a impedimentos de ordem física, metafísica, mitos e lendas urbanas, visão que actualmente tem mudado devido ao crescimento acelerado das cidades e falta de zonas verdes. A mudança de pensamento tem atraído a vizinhança para o convívio natural com as UC, que usufrui do seu espaço não só para lembrar, orar e realizar rituais religiosos mas também como local de lazer e tranquilidade para reflectir, ler, praticar actividade física e descansar, no caso de UC tipo parque (Campos, 2007).

A problemática que envolve as UC inclui os custos dos terrenos, a falta de espaço físico, os resíduos produzidos, os efluentes gerados na decomposição, factores psicológicos, entre outros. (Pires e Garcias, 2008)

Os materiais utilizados nas práticas funerárias (vernizes, plásticos, tintas, metais, poliéster) geralmente são de difícil degradação e não permitem a natural decomposição dos cadáveres, elevando o problema de falta de espaço nas UC. Actualmente há normas que limitam as emissões dos crematórios, mas o mesmo não acontece com a poluição dos solos devido ao uso indiscriminado dos materiais referidos (Jornal de Notícias, 2009).

Nem todos os espaços são apropriados para UC por razões ambientais e urbanísticas. Quer se trate do alargamento das UC, quer se trate da construção de uma nova, deve reservar-se o espaço necessário no plano de usos do solo ou no plano de urbanização. Quanto mais cedo o destino do terreno é fixado, mais cedo se neutralizam as tendências especulativas que dificultam o planeamento.

A área para uma UC é definida, em primeiro lugar, pelo desenvolvimento tendencial da população e pelo número de funerais por ano. Além do espaço ocupado por sepulturas, ossários, columbários, capelas e monumentos fúnebres, é necessário atender ao sistema de circulação interna (prevendo a circulação de máquinas), jardins, sanitários, unidades de apoio, sala para cultos religiosos, administração e parques de estacionamento. Estas previsões têm uma importância muito grande na determinação do espaço necessário para a UC. A proporção dos diversos tipos de sepulturas está sujeita a oscilações da conjuntura económica e apenas um projecto cuidadosamente pormenorizado vai permitir que o administrador da UC tenha condições para controlar e agir de maneira a que os direitos de utilização das sepulturas sejam atribuídos em correspondência com as exigências e necessidades reais (Conselho Alemão de Municípios, 1968).

O solo sempre foi usado para deposição de resíduos, incluindo cadáveres. Devido à sua constituição mineralógica, historial geológico, condições intempéricas, presença de

microrganismos, condições de arejamento e posicionamento espacial da superfície piezométrica da água subterrânea, o solo pode ter a sua capacidade de auto-depuração prejudicada, daí ser importante conhecer a natureza do resíduo eliminado, determinar o seu perigo potencial e as transformações no solo (Campos, 2007).

A maior parte do conhecimento acerca do ambiente bacteriano e físico-químico da decomposição de cadáveres no solo provém de estudos em UC e de experiências com adipocera. Os conhecimentos são úteis para estudos futuros e para a gestão de UC, exumações, investigações forenses e antropologia (Dent et al., 2004).

O Conselho Alemão de Municípios, em 1966, elaborou um estatuto-tipo de UC atendendo às perspectivas sociais sobre estas unidades, à jurisprudência relativa ao sector funerário e cemiterial e às exigências da prática. Os municípios e freguesias dispunham assim de um modelo útil que deveria ser adaptado e complementado de acordo com as características particulares de cada região.

Em 1968, a Associação Alemã de Arquitectos Paisagistas produziu um caderno de elevada qualidade acerca de UC e diversos parâmetros que se devem ter em conta na sua instalação ou ampliação. Deste caderno consta um modelo para regulamento, baseado no estatuto-tipo de 1966, no qual foram definidos os diversos tipos de campa e sua disposição, a forma de ajardinamento das campas assim como o tipo, tamanho e formas de trabalhar as pedras tumulares. Foram apresentados aspectos técnicos da administração de UC, equipamentos necessários, aspectos sanitários e biológicos relacionados com a decomposição, métodos de cálculo da área necessária para UC, aptidão e qualidades do solo necessárias para a inumação e questões relativas ao nível freático. Foram também abordados diversos aspectos acerca do contributo que a pedologia pode dar para a escolha de solos aptos para a inumação, baseado na avaliação do teor de água e de permeabilidade ao ar do solo, assim como das propriedades filtrantes deste. Este documento surgiu das necessidades crescentes de espaço que tinham as autarquias e ao seu desejo de encurtar os períodos de inumação. Os erros na escolha do local, por falta de conhecimento sobre a aptidão dos solos para a inumação, levam, por exemplo, a que a decomposição seja retardada ou mesmo inibida.

Em 2006 a Associação dos Agentes Funerários de Portugal e o Instituto Português de Qualidade formularam, em conjunto, uma Norma sobre urnas funerárias e a sua sustentabilidade mas a sua utilização é ainda muito reduzida (Jornal de Notícias, 2009).

Dada a dificuldade em encontrar locais para instalação de UC, é necessário identificar de forma precisa de que forma as UC causam impactes prejudiciais no ambiente e na saúde pública. Torna-se fundamental o estabelecimento de um guia de critérios básicos de projecto para a instalação e gestão de UC, além de considerações cuidadosas sobre os mais adequados tipos de solo para a inumação, de modo a minimizar os efeitos das contaminações (Pires e Garcias, 2008). A dificuldade deve-se, principalmente, a questões culturais e diversidades mundiais ao nível geológico, geográfico, hidrogeológico e climático (Campos, 2007).

Com efeito, citando o Prof. Dr. Carlos Delmonte, Médico Legista do IML, “Respeitadas as normas e regras técnicas vigentes, a inumação em contacto com o solo não se constituem perigo para o ambiente, ao contrário, como já relatado a putrefacção dos restos mortais humanos como a dos demais seres vivos faz parte da Natureza. O que polui o ambiente é o ser vivo e não o ser morto.”.

## 2. Objectivos

Os objectivos deste trabalho são:

- Identificação das condições geológicas e ambientais responsáveis por uma deficiente gestão de UC;
- Estabelecimento das condições mínimas a observar para a localização de UC.

## 3. História das unidades cemiteriais em Portugal

Os rituais religiosos e a tentativa de preservar os corpos são práticas contemporâneas ao aparecimento do homem na Terra. Desde os primórdios das civilizações, os povos imaginavam que o homem, ao morrer, continuava a ter necessidades, e assim teve início a adopção de práticas como oferendas de comida, bebida e apetrechos de que o falecido mais gostava. Este culto permitiu a reconstituição da fisionomia económica, social e política de antigas culturas a partir de objectos encontrados nas sepulturas juntamente com outros elementos históricos (Campos, 2007).

As primeiras inumações intencionais, individuais ou colectivas, datam do Paleolítico médio, mas em Portugal só surgem jazidas funerárias com o Mesolítico, tendo sido recuperados mais de três centenas de esqueletos junto às povoações ribeirinhas do Tejo e Sado. Os esqueletos surgem muito frequentemente em posição fetal e com objectos de adorno. Os adultos são depositados individualmente e as crianças colectivamente e próximo das habitações.

Ao Neolítico pertence a necrópole da gruta do Escoural e as cistas individuais do Alto Alentejo. A partir do final do IV milénio e até aos primeiros séculos do II, surgem os dólmenes, célebres pelas suas dimensões. Do III milénio a meados do II a. C., aparecem as grutas artificiais, de origem mediterrânica, a formar necrópoles de túmulos colectivos e apresentando testemunhos de várias ocupações. Outras construções funerárias, geralmente colectivas, são as “tholoi”, provavelmente de uma cultura de povos mineiros. Do Eneolítico surgem, pela primeira vez, peças metálicas, de cobre e ouro, cerâmicas e adornos de calcário, osso e xisto.

A idade do Bronze traz a inumação em sepulturas individuais que evoluíram de fossas a cistas e urnas ovóides. No final deste período, os cadáveres passaram a ser cremados e as cinzas colocadas nos primeiros campos de urnas, acompanhadas de pequenos vasos com oferendas. Da idade do Ferro distinguem-se os monumentos funerários de incinerações de que fazem parte as “pedras formosas”, como lajes que servem de fachada a galerias cobertas.

O ritual da incineração manteve-se até à segunda metade do século II d.C., verificando-se a partir do século IV, em conexão com a inumação com o surgimento do Cristianismo. A incineração era realizada na própria cova ou fora dela, e as cinzas eram lançadas à terra, ou colocadas em urnas de vidro, barro, pedra ou chumbo, que se colocavam em columbários juntamente com outro espólio. Não são raros os achados de moedas em sepulturas (Dr<sup>a</sup> Maria Cristina Gonçalves Neto).

Portugal funda-se como Estado Independente em 1143 e em 1147 D. Afonso Henriques incumbiu o Arcebispo de Braga, D. João Peculiar, de escolher dois locais com o objectivo de inumar e honrar os guerreiros e construir casas de oração. Surgiram assim o Cemitério dos Ingleses e Francos, onde mais tarde se construiu o templo de Santa Maria dos Mártires, e o Cemitério dos Teutónicos, onde se ergueu o templo dedicado ao Padroeiro S. Vicente. As inumações também se faziam nas quintas, propriedades ou



castelos privados dos falecidos ou familiares e em campos abertos reservados pelas paróquias para esse fim. Mais tarde, a inumação no interior das igrejas generalizou-se e procurava-se o exterior para pessoas de menores posses. A cremação era proibida pela igreja Cristã.

Com o aparecimento de grandes epidemias, como a peste de 1523 e a de 1525, foi necessário tomar medidas de modo a dispor de um local a curto prazo para a inumação das numerosas vítimas. Os lugares escolhidos foram o Bairro Alto da Ermida e o Adro de S. Roque.

Em 1756 foi publicado por Ribeiro Sanches o “Tratado da Conservação de Saúde” em que a inumação nos templos é referida como causa de prejuízos à saúde, expondo a população a perigos e a doenças contagiosas. Esta ideia não foi aceite pelo povo e só mais tarde, devido ao aparecimento de várias epidemias, é que se gerou o medo em relação aos mortos.

D. Maria I, em 1787, ordenou a escolha em Lisboa de terrenos apropriados para a construção de UC. Estes tinham de ser longe da cidade, da população e situadas num sítio de altitude elevada. Foram então comprados os terrenos destinados a construir as 2 primeiras UC públicas do país: o Cemitério dos Prazeres, em Campo de Ourique, e o Cemitério do Alto de São João, na Penha da França. A resistência à construção prolongou-se até 1835, ano em que se proíbe a inumação nas igrejas e seus adros.

Em 1884 continuavam a sentir-se preocupações a nível sanitário entre a comunidade científica, tendo sido publicado um artigo que enumera os receios de implantação das UC, dos problemas que podem surgir da sua instalação sem um estudo prévio da geologia do terreno, da reabertura anual de sepulturas constituindo um perigo para a saúde pública devido às doenças virulentas que podem estar em estado latente ao fim de 5 anos e do perigo da chuva que permite a lixiviação de agentes infecciosos.

A ascensão social e económica da burguesia industrial e a nova nobreza originaram uma proliferação de construções fúnebres nas UC. Os jazigos do tipo capela representavam um prolongamento dos tectos familiares e eram então um símbolo do poder mesmo após a morte. As UC ganharam assim um carácter monumental através da arte funerária, aparecendo nelas a história de uma civilização através da concentração de estilos de épocas diferentes (Serra, 2000).

A maioria das UC portuguesas data do século XIX, predominando os jazigos particulares e municipais e as sepulturas temporárias e perpétuas. A saturação destas UC coloca os responsáveis numa situação difícil, devido à ausência de espaços adequados disponíveis. A solução muitas vezes passa pela ampliação, nem sempre tecnicamente correcta, dos já existentes, com sacrifício dos espaços verdes (Pacheco e Saraiva, 2005).

Só na 1ª República, em 1912, teve início o processo de estabelecimento de um Crematório em Lisboa, no Cemitério do Alto de S. João. Acabadas as obras de arquitectura do edifício, foi necessário esperar alguns anos pela compra de um forno crematório na Alemanha, sua instalação e ensino do correcto funcionamento. A primeira cremação aconteceu em 28 de Novembro de 1925 e, em 1936 o crematório foi encerrado. Foi reactivado em 1985, em parte pela pressão da comunidade hindu.

## 4. Tipos de unidades cemiteriais

Em muitos países Ocidentais, as UC são enquadradas na zona verde urbana, não são apenas locais para inumar os falecidos mas também locais de lembrança e lazer. Algumas UC tornaram-se pontos de interesse turístico, como é o caso do Cemitério Nacional de Arlington e Cemitério de Nova Orleães, nos Estados Unidos da América, o Cemitério de Woodland, em Estocolmo, e o Cemitério de Montparnasse, em Paris (Huang, 2007).

Na Europa foi criada a *Association of Significant Cemeteries of Europe* (ASCE) com o objectivo de promover as UC europeias, públicas e privadas, que cuidam de UC consideradas de elevada importância histórica ou artística. Um exemplo das actividades promovidas pela ASCE é a “Semana Europeia para Descobrir os Cemitérios” na qual as UC realizam eventos para atrair a população a estes recintos. Relativamente a Portugal, apenas o Cemitério do Prado do Repouso e o Cemitério de Agramonte, ambos no distrito do Porto, pertencem a esta associação ([www.significantcemeteries.org](http://www.significantcemeteries.org)).

### 4.1. Unidade cemiterial tradicional (convencional, clássica ou horizontal)

As UC tradicionais são compostas por alamedas pavimentadas que contêm sepulturas, jazigos, crucifixos, imagens, monumentos fúnebres e pouca ou nenhuma arborização. Estas características tornam-nas locais melancólicos e sombrios, sendo muitas vezes vistas como mazelas urbanas. Geralmente os cadáveres são inumados, facilitando a decomposição em função do contacto do cadáver com a camada activa do solo. Outras vantagens da inumação são o respeito por princípios religiosos e de medicina legal, útil em casos de mortes em massa e conservação de material de pesquisa para a posteridade. Como desvantagem há o elevado custo de manutenção, o risco de libertação de odores, possível contaminação do solo e das águas subterrâneas e superficiais, ocupação de grandes áreas, custos elevados devido à ostentação, necessidade de solo adequado, ambiente que afecta a estética urbana e pode gerar impactes psicológicos e possível proliferação de insectos ou artrópodes vectores de doenças (Campos, 2007).

Chama-se sepulturas perpétuas àquelas que são atribuídos direitos de utilização superiores ao período de inumação. Estas sepulturas geralmente têm dupla profundidade, ou seja, são construídas como jazigos subterrâneos para que se tornem campas familiares. As sepulturas temporárias são atribuídas à vez e não há possibilidade de prolongar o tempo de utilização para além do período legal de inumação. Ambos os tipos de sepultura existem para inumação de cadáveres e de cinzas, variando assim o seu tamanho de acordo com o uso (Conselho Alemão de Municípios, 1968).

Os jazigos são locais onde são colocados caixões de zinco com filtros depuradores no seu interior e dispositivos adequados a controlar o efeito da pressão dos gases no seu interior. Os cadáveres são preservados de forma a durar muito tempo (os períodos de esqueletização chegam aos 100 anos) (Rodrigues, 2002).

As urnas de cinzas podem ser colocadas em cendrários, sepulturas, jazigos, ossários, columbários ou podem ser levadas para casa por familiares. Os restos mortais provenientes de exumações podem ser inumados a maior profundidade (no caso de sepulturas familiares), colocados em ossários ou podem ser cremados.

Algumas UC têm nichos de decomposição aeróbia nos quais são depositados cadáveres em urnas de madeira. Os nichos são feitos de materiais impermeáveis e é introduzido ar (oxigénio), de forma controlada, desenvolvendo-se processos oxidativos que

aceleram a decomposição do cadáver. A entrada de ar pode ocorrer naturalmente ou de forma artificial, no entanto, é sempre sujeito a um processo de depuração antes de regressar à atmosfera ([www.necropolis.pt](http://www.necropolis.pt)).

O sistema espanhol *DUWE* consiste em nichos de betão armado que são montados de forma simples sobre uma base de betão convencional. Os nichos são dimensionados para suportar cargas pesadas mesmo sob condições climáticas e sísmicas desfavoráveis. Na frente existem algumas aplicações metálicas que facilitam o manuseamento e podem ser decoradas pelos familiares. Estes nichos estão ligados a uma câmara de ventilação por onde os gases circulam com a máxima inocuidade. Para facilitar a drenagem de líquidos, a construção é ligeiramente inclinada. A cobertura dos módulos pode ser uma laje pré-fabricada ou de betão. Lateralmente, podem ser revestidos com vitrais, tijolo, cerâmica, betão ou pedra, permitindo a personalização de cada projecto e a sua integração na paisagem ([www.memorial-parks.com](http://www.memorial-parks.com)). Os sistemas de nichos pré-fabricados de origem portuguesa possuem sistema de drenagem e ventilação por tubagem de PVC.

O sistema monolítico tipo túnel tem sido utilizado na construção de nichos de decomposição aeróbia, ossários, columbários e sepulturas. A construção é feita em cimento armado perfeitamente vibrado, ficando impermeável a gases e líquidos. O efeito hermético consegue-se fechando o nicho com uma tampa de cimento armado, selada com massa de cimento/areia ou com uma tampa de polietileno, selada com silicone. O sistema é montado com recurso a moldes de poliéster reforçado, ficando com um aspecto tipo túnel. Os nichos têm um sistema de ventilação e drenagem por tubos de PVC ([www.galport.com](http://www.galport.com)).

Os nichos de decomposição aeróbia trazem vantagens ao nível sanitário (se a manutenção for adequada) e de gestão de espaço, dado que, ao reduzir significativamente o período de esqueletização do cadáver, vai permitir maior rotatividade das sepulturas. São uma boa alternativa quando o solo destinado à UC é hidrologicamente vulnerável à contaminação (Rodrigues, 2002).

#### **4.2. Unidade cemiterial tipo parque (ou jardim)**

São formadas por gavetas no solo cobertas por relvado e árvores e isentas de construções tumulares. As inumações são feitas por tumulação e as sepulturas são identificadas por pequenas lápides de bronze ao nível do chão. As principais desvantagens são a falta de tratamento do miasma e dos gases, a influência na qualidade dos solos e das águas subterrâneas e a utilização de várias gavetas a profundidades próximas de aquíferos, levando a fenómenos conservativos (Campos, 2007). Há ainda a tendência para regar a relva em períodos secos para que esta se apresente sempre verde e com aspecto cuidado. Isto pode levar a um aumento da humidade do solo e possível subida do nível freático.

Estas UC têm como filosofia a igualdade absoluta, sem distinção económica, social, racial nem religiosa. Criam um ambiente mais agradável de visitar e aumentam a área verde da cidade contribuindo para o equilíbrio ecológico (Sobrinho, 2002).

O Cemitério-Parque São Pedro, no Brasil, foi projectado de acordo com as normas ambientais ISO 14 001, de modo que foi o primeiro a obter esta certificação. Possui poços de monitorização e uma rede de drenagem superficial e profunda que abrange os seus 120.000 m<sup>2</sup> de área. Este sistema de drenagem dirige o miasma dos jazigos para um filtro biológico, impedindo a contaminação da água freática e cursos de água da região. Das infra-estruturas fazem parte alamedas asfaltadas, capelas ecuménicas, salas de estar, repouso e velório, cantina, floristas e estacionamento. A UC tem óptima localização, fácil

acesso, atendimento médico durante 24 horas em inumações e velórios, planos especiais de pagamento e actividades sociais terapêutico-recreativas ([www.funerariaonline.com.br](http://www.funerariaonline.com.br)).

#### **4.3. Unidade cemiterial vertical**

As UC verticais são construídas acima do nível do solo, sem contacto com este. Os cadáveres são depositados em gavetas individuais, uns ao lado dos outros, formando edifícios nos quais os visitantes circulam por escadas ou elevadores e corredores. Em cada andar existe um tubo de ventilação ligado a um tubo central para expulsar os gases gerados na decomposição. O miasma é seco por circulação do ar não entrando em contacto com o solo nem águas subterrâneas. Como vantagens há a utilização de menores áreas e a ausência de contaminação de solos e águas subterrâneas (quando em boas condições de funcionamento), facilidade de inumação e de visita. Como desvantagens têm a libertação de gases sem tratamento e a necessidade de maiores cuidados de construção e manutenção para evitar a fuga de miasma e a emissão de odores (Campos, 2007).

#### **4.4. Unidade cemiterial natural**

As UC naturais oferecem um ambiente rural sem lápides, vedações nem portões no qual as inumações são mais amigas do ambiente. Algumas das medidas para ajudar nos processos naturais de decomposição são a inumação na camada activa do solo, ausência de embalsamento e utilização apenas de materiais biodegradáveis de origem sustentável (roupas, urnas, objectos). É plantada uma árvore autóctone a marcar o local da sepultura, sendo a UC gradualmente transformada numa mata nativa em que os produtos da decomposição do cadáver são absorvidos pelo solo e pelas plantas. Pretende-se que a UC se torne num parque permanente, com fauna e flora autóctone, agradável de visitar. Esta vegetação ajudará também o planeta na medida em que absorve dióxido de carbono atmosférico (pode ser vista como redutora da pegada ecológica da pessoa inumada).

Embora seja recomendada a localização das sepulturas apenas por GPS, são permitidos marcadores apenas de madeira de origem sustentável sem químicos nem tratamentos com compostos artificiais e as exumações são desencorajadas devido à necessidade de remover árvores o que irá retardar o processo de restauro. Na maior parte destas UC não é permitido inumar cinzas pois estas não contêm nutrientes, ou seja, vão contra os ideais deste tipo de UC ([www.ecofunerals.co.nz](http://www.ecofunerals.co.nz)).

#### **4.5. Crematórios**

Vários especialistas apontam a cremação como uma inevitabilidade, tanto pela falta de espaço, como pela menor pegada ecológica que deixa em contraponto um funeral tradicional. O recurso à cremação tem vindo a aumentar por uma questão de escolha, mas na maior parte dos casos tal sucede por falta de dinheiro devido ao custo cada vez maior das campas. No caso do Japão, por exemplo, a cremação é utilizada em 99% dos casos.

A cremação é um método antigo e asséptico usado para reduzir o cadáver, através da utilização do fogo, calor e trituração, a pequenos fragmentos ósseos vulgarmente chamados cinzas. É feita em fornos crematórios nos quais apenas é admitido um cadáver de cada vez, em urna de madeira de fácil combustão, sem tintas e vernizes tóxicos e sem adornos plásticos ou metálicos (Jornal de Notícias, 2009).

A urna com o cadáver é colocada numa câmara com filtros para retenção de material particulado e com ventiladores que asseguram a alimentação de oxigénio a uma taxa adequada para que o processo seja eficiente. A temperatura é elevada a 1400 – 1800 °F (760 – 982 °C) e, passadas 2 a 2 ½ horas, toda a matéria orgânica é consumida pelo calor. Os químicos de embalsamento são completamente destruídos no processo de cremação e os dispositivos médicos ou implantes, plásticos ou metálicos, devem ser retirados para evitar a libertação de dioxinas (reduzindo a emissão de poluentes) e eliminar o risco de explosão durante a cremação. Os resíduos são então sujeitos a um processo electromagnético para retirar todos os metais e processados para se obter uma mistura homogénea de finas partículas. As cinzas são colocadas numa urna e entregues à família. Em condições normais, não é libertado odor, fumo nem ruído ([www.nfda.org](http://www.nfda.org)).

A tecnologia de um crematório moderno assegura que todos os gases de exaustão são novamente inflamados (pirólise) e reduzidos à sua forma elementar, garantindo que as descargas para a atmosfera são mínimas ([www.ecofunerals.co.nz](http://www.ecofunerals.co.nz)).

Os crematórios têm como vantagens a não interferência do miasma nas águas subterrâneas, a destruição de microrganismos e tecidos que podiam interferir com o ambiente, eliminação da imagem das UC tradicionais, eliminação do medo de morte e poupança de terreno e dinheiro. As desvantagens são a queima de combustível, produção de resíduos na combustão de cadáveres e a pequena aceitação por questões sociais, religiosas e culturais (Campos, 2007).

Até ao meio do século XX, o combustível utilizado era o carvão. Devido ao poder calorífico do combustível, a evolução deu-se para o gasóleo, gás e gás natural, sendo este último o mais recomendado. A cremação contribui para a emissão de gases com efeito de estufa mas são menos poluentes do que os queimadores domésticos e o consumo é elevado apenas na primeira cremação pois nas seguintes é aproveitado o calor que fica retido nos tijolos refractários e resistentes ao calor do cremador ([www.ecofunerals.co.nz](http://www.ecofunerals.co.nz)). Todavia, a cada 5 anos os tijolos têm de ser substituídos devido à fadiga térmica acumulada (Jornal de Notícias, 2009) e devido à limpeza dos mesmos por arrastamento após cada cremação.

O forno crematório *SHELTON*, de fabrico Inglês, é um forno com avançada tecnologia europeia com três câmaras de cremação que permitem cremar simultaneamente três cadáveres sem mistura de cinzas, economizando energia e tempo. Nestes crematório é necessária apenas uma revisão do refractário a cada 10 anos. Existem crematórios para cadáveres, resíduos cemiteriais e ossadas, resíduos hospitalares e ainda para a área veterinária ([www.nfda.org](http://www.nfda.org)).

Devido à pressão mundial para diminuição das emissões atmosféricas (principalmente do mercúrio de aplicações dentárias), uma empresa Sueca desenvolveu uma técnica de cremação através do frio que consiste em arrefecer o cadáver até -18 °C e de seguida mergulhá-lo em azoto a -196 °C. Esta exposição ao frio fragiliza o cadáver que se estilhaça ao ser submetido a ondas sonoras. Dois terços do produto resultante são água que é drenada para uma câmara de vácuo. Os componentes metálicos do resíduo são filtrados e obtém-se uma cinza orgânica que deve ser inumada em urna biodegradável (feita de amido de milho) a pouca profundidade. O oxigénio e as bactérias assimilam-na rapidamente e pode ser colocada uma planta no topo da sepultura que aproveite os nutrientes do composto. O gasto energético deste método ainda não é conhecido ([www.ambienteonline.pt](http://www.ambienteonline.pt)).

## 5. Condições de funcionamento de unidades cemiteriais

As finalidades de uma UC são possibilitar uma inumação própria e ordenada de polícia e honrar os falecidos. A entidade proprietária de cada unidade deve elaborar um regulamento de acordo com critérios que correspondam à sensibilidade religiosa e estética da população. Só podem ser regulamentadas as determinações respeitantes à ordem (prescrições para o comportamento geral dos utentes, horas de abertura, autorizações para o exercício de actividades comerciais e de prestação de serviços), situações jurídicas relativas às campas, prescrições sobre a inumação, sobre a conservação e tratamento das campas e sobre a edificação de monumentos funerários (autorização, construção, condições de segurança) e utilização das instalações da UC.

As UC são reconhecidas como áreas de elevada densidade de mosquitos, sendo sítios prioritários para o seu controlo como vectores de doenças e locais estratégicos para monitorizar a infestação por determinadas espécies, devido à presença de substâncias doces, sangue, abrigo e recipientes (vasos e jarras) com água. Estes recipientes, quando comparados com outros de carácter urbano, têm maior persistência, são mais homogéneos em forma e capacidade, estão presentes em grande número e são usados para colocar apenas matéria vegetal. Existem ainda os contentores de recolha de resíduos espalhados pelos caminhos entre talhões da UC que contêm essencialmente matéria vegetal, sujeita às condições climáticas.

As principais fontes de hidratos de carbono para os mosquitos são as flores frescas levadas por visitantes e a vegetação plantada como ornamentação. As fontes de sangue para as fêmeas podem ser os visitantes e funcionários da UC, cães, gatos, aves, mamíferos, répteis, anfíbios e insectos que normalmente são mais abundantes nas UC e parques do que noutras áreas da cidade.

A recomendação mais óbvia para controlar os mosquitos nas UC é remover os vasos, mas isto iria criar grandes conflitos com a população. Mudar frequentemente a água dos vasos também é quase impraticável. Encher os vasos com solo húmido ou areia, utilizar apenas flores artificiais, utilizar vasos com orifício de drenagem e mantê-lo livre de obstruções ou utilizar apenas vasos de bronze, são recomendações mais viáveis. Um programa de controlo deve basear-se na gestão ambiental e em campanhas de sensibilização. Considerando a resistência dos mosquitos a insecticidas, é recomendado evitar químicos para controlos de rotina e mantê-los como uma ferramenta eficiente para prevenir potenciais epidemias de doenças transmitidas por mosquitos (Vezzani, 2007).

A biomonitorização pode ser definida como o uso de organismos e biomateriais para obter informações sobre certas características da biosfera. Os líquenes e os briófitos são os biomonitores mais frequentes dado que a sua morfologia não se altera sazonalmente, permitindo que a acumulação ocorra todo o ano. Estes organismos têm elevada longevidade, podendo ser utilizados como integradores, a longo prazo, da contaminação. Em meio urbano muitas vezes as UC são os únicos locais onde se acumulam espécies que permitem monitorizar a qualidade do ar e da água ([www.cienciaviva.pt](http://www.cienciaviva.pt)).

O trabalho manual no interior das UC deve ser evitado, devendo ser utilizados aparelhos motorizados para a manutenção e o transporte de entulho, terra e plantas, entre outros. A entidade gestora deve salvaguardar a construção de caminhos que permitam a circulação desses aparelhos que, por sua vez, devem ser adaptados às características específicas do local. Os aparelhos e veículos devem ser pouco barulhentos para não perturbar o carácter de intimidade, devendo os caminhos para circulação ser previstos em

número tão baixo quanto possível e de modo a não circular nas áreas de repouso (Conselho Alemão de Municípios, 1968).

Quando as UC se encontram bem geridas podem ser um local agradável com utilidade recreativa nas grandes metrópoles. Por outro lado, se estiver poluído, cheio de resíduos ou com vegetação fora do controlo é um ambiente prejudicial para os visitantes. Em muitas UC o ar, a água subterrânea e o solo estão contaminados devido aos químicos de conservação artificial do cadáver, materiais utilizados nas práticas funerárias e aumento da concentração de substâncias orgânicas, inorgânicas e microrganismos.

## 6. Práticas funerárias

Em Portugal, os principais destinos para os cadáveres são a inumação e a cremação.

As práticas da população servida pela UC definem a utilização ou não de urna, os processos e tipo de construção da urna, o envolvimento em plástico, o tipo de tecidos utilizados, os artefactos e o recurso ou não a processos artificiais de conservação. Os materiais devem ser biodegradáveis e permeáveis, permitindo as trocas gasosas entre o cadáver e o meio envolvente. Não é recomendado o uso de plásticos, tintas, colas, vernizes, metais pesados ou qualquer tipo de material nocivo para o ambiente.

Talvez devido a uma crescente consciencialização da necessidade de um desenvolvimento sustentável e da protecção do planeta, as urnas ecológicas têm vindo a ter cada vez mais procura a nível mundial. Apesar de ainda serem um nicho no mercado português, há cada vez mais agentes funerários a disponibilizar este tipo de urnas e a procura aumenta de forma consistente. As urnas ecológicas e biodegradáveis são feitas com madeiras naturais de origem sustentável, preferindo-se as que mais facilmente são absorvidas pelo ambiente em detrimento das madeiras com maior grau de conservação. Para se biodegradarem naturalmente em conjunto com o cadáver, não deixando resíduos poluentes ou de difícil decomposição, utilizam tintas e vernizes aquosos e colas não tóxicas e biodegradáveis. Com o mesmo propósito, não são utilizados quaisquer tipos de metais ou conservantes químicos e os tecidos de poliéster são substituídos por fibras naturais.

Exceptuando as urnas de cremação, actualmente não existem restrições na utilização de materiais para construção e acabamento de urnas. Considera-se importante que na Comissão Técnica encarregue de normalizar as urnas funerárias estejam representados elementos com interesse no campo ambiental e na área da saúde (Jornal de Notícias, 2009).

Os processos artificiais mais comuns para preparar, estabilizar e retardar a decomposição dos cadáveres são a formolização, o embalsamento, a tanatopraxia e a mumificação. Nestes processos são utilizadas várias substâncias químicas e a composição de algumas não é exactamente conhecida, podendo conter metais pesados (Romanó, 2005).

A tanatopraxia é a prática mais actual, tendo as restantes caído em desuso. É também conhecida como a arte de restauração e recomposição cadavérica, cuja finalidade é manter a aparência natural do cadáver, evitando os efeitos naturais da putrefacção. Serve também para que o cadáver possa ser transportado a grandes distâncias, bem como cumprir com as determinações legais para o traslado. Outro objectivo da tanatopraxia é evitar a propagação de doenças visto que com essa preparação o cadáver recebe um tratamento com substâncias germicidas ([www.agencia-funeraria-alves.pt](http://www.agencia-funeraria-alves.pt)).

A cal hidratada é muitas vezes adicionada nas sepulturas com o intuito de acelerar o processo de decomposição, sendo prática habitual em muitas UC do país. O seu uso não é indicado pois forma uma película em volta do cadáver que o torna impermeável e inibe a decomposição por queimar os microrganismos existentes. Como alternativa deve ser usado o peróxido de cálcio ( $\text{CaO}_2$ ), que é uma substância oxidante com baixa solubilidade em água a 20 °C, granulometria de 1 a 3 mm e uma média de vida entre 10 e 15 dias. É considerado inofensivo para o ambiente mas é de perigoso manuseio. Pode ser colocado em zonas críticas do cadáver, como no abdómen, logo na inumação ou quando na exumação se verifica que ainda não foi atingido o estado mínimo de decomposição.

Existem também pós absorventes (por exemplo, *Eurodol PHT*) cujo objectivo é a absorção dos líquidos da decomposição dizendo-se capaz de absorver 10 vezes o seu peso e que se coloca entre as pernas do cadáver. A utilização de catalisadores, como o



*Bioenzimex DCH*, tem por objectivo acelerar a decomposição mas não se conhece a sua ficha toxicológica e a sua eficácia é desconhecida devido a não ser utilizado há tempo suficiente.

A adição de desinfectantes pode influenciar negativamente os processos do metabolismo da decomposição. Com uma concentração maior de oxigénio corre-se o risco de em vez de uma decomposição acelerada se dê a mumificação (Serra, 2000). A legislação não é clara quanto à autorização da comercialização de produtos feitos à base de complexos enzimáticos e da combinação de várias espécies bacterianas colocadas num suporte mineral, com acção biodegradante, utilizados com o objectivo de acelerar o processo de decomposição da matéria orgânica.

## 7. Composição do corpo humano

Em 1951, Van Haaren publicou que o corpo humano tem na sua composição 64% de água, 20% de proteínas, 10% de gorduras, 5% de sais minerais e 1% de hidratos de carbono (Environment Agency, 2004).

A constituição elementar de um corpo masculino típico, com 70 kg de peso, é tabelada abaixo. O corpo feminino corresponde entre um quarto e dois terços do masculino (Environment Agency, 2004).

Tabela 1: Composição elementar de um corpo humano com 70 kg.

Elemento	Massa (g)
Oxigénio	43 000
Carbono	16 000
Hidrogénio	7 000
Azoto	1 800
Cálcio	1 100
Fósforo	500
Enxofre	140
Potássio	140
Sódio	100
Cloreto	95
Magnésio	19
Ferro	4,2
Cobre	0,17
Chumbo	0,12
Cádmio	0,05
Níquel	0,01
Urânio	0,000 09
<b>Massa total do corpo</b>	<b>70 000</b>

Fonte: (Environment Agency, 2004)

A Tabela 2 apresenta a degradabilidade de um cadáver confinado (Environment Agency, 2004), expressa em percentagem de massa corporal:

Tabela 2: Percentagem de matéria degradável do cadáver confinado.

Categoria	Percentagem de massa corporal (base de peso seco)
Rapidamente degradável	60
Moderadamente degradável	15
Lentamente degradável	20
Inerte (não degradável)	5

Fonte: (Environment Agency, 2004)

Os componentes de degradação lenta dos ossos podem ser considerados inertes para efeitos práticos, ou seja, pode-se assumir que os sais minerais (cinzas) formam um resíduo estável que representa 25% da massa corporal (Environment Agency, 2004).



## **8. Processos de transformação de cadáveres**

Segundo a Lei n.º 141/99, de 28 de Agosto, “a morte corresponde à cessação irreversível das funções do tronco cerebral”.

A morte não é um instante mas sim uma sucessão de fenómenos. A cronotanatognose é o diagnóstico do tempo de morte pela observação das evidências ou dos sinais abióticos ou não vitais positivos que se dividem em imediatos, mediatos e tardios (Bonaccorso, 2005).

### **8.1. Fenómenos abióticos imediatos**

Os primeiros sinais negativos de vida correspondem à cessação das funções vitais como a perda de consciência e sensibilidade a estímulos dolorosos e a cessação de batimentos cardíacos, de movimentos respiratórios e de actividade cerebral (Ribeiro et al., 2007).

### **8.2. Fenómenos abióticos mediatos**

Os fenómenos abióticos mediatos mais comuns são (Ribeiro et al., 2007):

- Arrefecimento cadavérico até à temperatura ambiente;
- Desidratação cadavérica e alterações oculares devido à evaporação da água do cadáver, os quais dependem da humidade do ar, da temperatura ambiente, da circulação de ar e da causa de morte;
- Aparecimento de livores cadavéricos que são manchas roxas ou azuladas nas zonas de maior declive do cadáver formadas, pela acumulação de sangue por acção da gravidade;
- Rigidez cadavérica devido à depleção de ATP (Adenosina Trifosfato) intracelular que possibilita que no tecido muscular os filamentos de actina e miosina se separem, verificando-se a contracção muscular.

### **8.3. Fenómenos abióticos tardios**

Os fenómenos transformativos tardios podem ser destrutivos ou conservativos. Entre os primeiros destacam-se a autólise, a putrefacção e a maceração e entre os segundos a saponificação, a mumificação, a corificação, a calcificação e a congelação.

O cadáver ao ser inumado fica sujeito a fenómenos transformativos que se pretendem destrutivos. No entanto, as características geológicas e hidrogeológicas nem sempre são devidamente consideradas na localização das UC ocorrendo, por isso, fenómenos transformativos conservativos que impedem ou retardam os processos de decomposição dos cadáveres (Pacheco, 2006).

#### **8.3.1. Fenómenos transformativos destrutivos**

##### **8.3.1.1. Autólise**

A autólise é um fenómeno putrefactivo anaeróbio intracelular que é raro acontecer e requer um ambiente ácido e húmido. Os tecidos degradam-se espontaneamente, em graus diversos, devido à produção de enzimas pelas próprias células. Neste processo não

participam bactérias e as células mais afectadas são as que possuem enzimas (mucosas gástrica e intestinal e pâncreas). Este fenómeno é mais comum em recém-nascidos (<http://medicosdeportugal.saude.sapo.pt/>).

### **8.3.1.2. Putrefacção**

O processo de putrefacção é decorrente de fenómenos biológicos, químicos e físicos, pode ser observado 24h após a morte tem a duração de alguns meses a alguns anos, dependendo das condições ambientais. A putrefacção consiste, principalmente, na decomposição da matéria orgânica por processo de fermentação pútrida de origem microbiana endógena ou exógena. A putrefacção passa por quatro períodos: período de coloração, período enfisematoso, período de liquefacção e período de esqueletização (Ribeiro et al., 2007).

Em Portugal, a decomposição completa do cadáver de um adulto a ossadas dá-se, geralmente, ao fim de 5 a 7 anos. A legislação prevê um período mínimo de inumação de 3 anos, aumentando a probabilidade de exumação de cadáveres sem as partes moles consumidas pois este período não atende às condições climáticas invernosas de longa duração de algumas zonas do país, mas sim à preocupação da sobrelotação das UC nacionais (Rodrigues, 2002).

#### **8.3.1.2.1. Período de Coloração**

Esta fase tem início com a actividade das bactérias anaeróbias intestinais do tipo saprófitas. É caracterizada por uma mancha verde que começa a aparecer na zona abdominal e daí se espalha para o tórax, cabeça e membros. Esta mancha é causada pela acumulação de gases na zona da fossa ilíaca por ser onde existe maior concentração destas bactérias (Ribeiro et al., 2007).

Nos fetos este processo tem início na parte superior do tórax, face e pescoço devido ao conteúdo intestinal estéril e acumulação de bactérias nas vias aéreas (Galvão, 1994).

Este primeiro período pode durar até 7 dias, sendo mais rápido na água e mais moroso nos cadáveres inumados do que nos conservados ao ar livre (Sobrinho, 2002).

#### **8.3.1.2.2. Período Enfisematoso**

Cerca de 72h após o início do período de coloração, os gases produzidos pelas bactérias saprófitas espalham-se pelo cadáver, aumentando o seu volume. Estes gases são progressivamente libertados e o cadáver fica totalmente deformado. O aumento da pressão provoca a deslocação do útero e do recto e a elevação do diafragma com consequente compressão pulmonar que resulta na saída de líquido avermelhado pela boca e narinas. O cérebro perde a estrutura tornando-se uma massa pegajosa (Ribeiro et al., 2007).

#### **8.3.1.2.3. Período de Liquefacção**

A duração deste período depende das condições de resistência do cadáver e da agressividade do meio externo (Galvão, 1994).

Os gases dispersam ficando o cadáver com tamanho reduzido e odor desagradável. Neste período, além dos microrganismos putrefactivos, há grande participação de larvas que concorrem na destruição do cadáver. A sua acção, em conjunto com as condições

ambientais, reduz o volume do cadáver devido à desintegração progressiva das partes moles, deixando o esqueleto limpo. Os ossos ficam presos apenas por alguns ligamentos articulares (Sobrinho, 2002).

A fase de liquefacção é a mais preocupante em termos ambientais pois ocorre libertação do líquido humoroso, aqui designado por miasma (Pacheco, 2006). A eliminação deste líquido é muito lenta e grande quantidade da água evapora quase ao mesmo tempo que se elimina, ficando o solo impregnado de gorduras e produtos intermédios não voláteis resultantes da decomposição. Pode ocorrer a contaminação das águas subterrâneas como resultado da infiltração dos lixiviados no solo (Rodrigues, 2002).

#### **8.3.1.2.4. Período de Esqueletização**

Com o passar dos anos, os cabelos e ossos vão perdendo a sua estrutura e resistência ficando apenas a fracção mineral (carbonato de cálcio) (Pacheco, 2006). Os solos com características ácidas decompõem os ossos rapidamente, enquanto solos neutros ou ligeiramente alcalinos os preservam. Caso seja atingido por chuvas ácidas, o esqueleto é rapidamente destruído (Rodrigues, 2002).

#### **8.3.1.3. Maceração**

Neste processo ocorre o amolecimento dos tecidos e órgãos quando ficam submersos num meio líquido. O mais frequente é que aconteça com o líquido amniótico (normalmente maceração asséptica) e com líquido contaminado (Ribeiro et al., 2007).

A pele do cadáver torna-se esbranquiçada, quebradiça, enrugada e faz com que a epiderme se solte da derme e se fragmente. Isto é bastante evidente nas mãos, onde a pele se desprende com a forma de luvas. A derme fica exposta, mostrando-se em geral com coloração vermelha brilhante e lúida, devido ao edema que a embebe e dilata. Após a desintegração da consistência corporal, os ossos descolam dos tecidos e há grande possibilidade de contaminação do meio envolvente. Alguns autores incluem a putrefacção sob imersão em água na maceração (Galvão, 1994).

### **8.3.2. Fenómenos Transformativos Conservativos**

A ocorrência deste tipo de fenómenos depende das condições ambientais e constitui um problema para a reutilização de sepulturas pois saturam os espaços existentes nas UC. Se forem observados fenómenos conservativos em cadáveres exumados estes voltam a ser inumados até completa decomposição. Estes fenómenos atrasam a decomposição dos cadáveres e causam a neutralização de efluentes, prolongam a permanência dos cadáveres semi-decompostos e mantêm o potencial de contaminação latente (Pacheco, 2006).

O ambiente em que o cadáver é inumado é definido pelas condições químicas, biológicas e geológicas do local, que são afectadas pela presença do cadáver e vários factores vão influenciar a decomposição, incluindo o método de inumação (por exemplo, tipo de caixão, tipo de roupas, profundidade da sepultura) (Forbes et al., 2005b).

#### **8.3.2.1. Saponificação**

A saponificação é caracterizada pela hidrólise de gordura presente no tecido adiposo, com a libertação de ácidos gordos saturados que se unem a minerais do

organismo, como o cálcio e o magnésio, formando uma substância chamada adipocera que pode ter até 4 cm de espessura. A adipocera tem consistência untuosa e mole, tonalidade amarelo-escura, odor de queijo rançoso, aspecto de cera ou sabão, e abranda ou inibe a acção de microrganismos putrefactivos, retardando a decomposição (Fiedler et al., 2004).

Muitos dos estudos acerca das melhores condições para instalação de UC são baseados em estudos de formação de adipocera, ou seja, estudos acerca das condições que levam à saponificação dos cadáveres.

A formação de adipocera geralmente começa nas partes do cadáver que contêm maior quantidade de tecido adiposo. Na maior parte dos casos a saponificação é parcial e as extremidades do cadáver apresentam sinais de esqueletização em que os ossos ficam bastante elásticos devido à desmineralização e à presença de quantidades residuais de colagénio. Estudos realizados para diferentes tipos de solos, em condições controladas de humidade e temperatura, revelaram que os ambientes mais propícios a este fenómeno são quentes, húmidos e anaeróbios, na presença de bactérias endógenas, alcalinidade moderada e em solos argilosos devido à sua impermeabilidade e retenção de água. Um cadáver tem água suficiente para induzir a formação de adipocera em solo seco e, quanto maior a saturação do ambiente, maior a probabilidade de formação de adipocera.

Experiências realizadas em ambiente que pode representar uma praia ou dunas de clima temperado (mas não o clima seco de um deserto) sugerem que as propriedades drenantes deste tipo de ambiente arenoso permitem rápida remoção de glicerol e, em condições anaeróbias, os ácidos gordos saturados ficam livres para formar adipocera mais prontamente. A afirmação de que um ambiente arenosos favorece a formação de adipocera não se aplica a todas as condições climáticas.

A adipocera que se forma num solo estéril (ausência de microrganismos) sugere que o tecido adiposo em decomposição tem bactérias suficientes para induzir a sua formação (Forbes et al., 2005a).

Os resultados destas experiências não podem ser extrapolados para ambientes significativamente diferente àquele em que foram conduzidas.

A degradação da estrutura do solo causada pela abertura das covas leva à subida do nível freático e à expansão das condições redutoras na zona das sepulturas. Nestas condições a decomposição abranda porque as bactérias decompositoras de matéria orgânica não sobrevivem devido à falta de oxigénio, acidez, presença de amins ou outras substâncias que afectam o pH ou as funções das membranas.

Num solo onde nunca foram feitas inumações, o pH diminui com a profundidade e a biomassa aumenta. Em solos com adipocera, o pH é geralmente mais elevado devido à inibição da fase da decomposição em que são produzidos compostos alcalinos.

Apesar de a formação de adipocera levar à conservação dos cadáveres, podem ser encontrados fósforo, carbono orgânico dissolvido e cadaverina nos lixiviados das sepulturas. Parece provável que o meio ácido permite a migração de fósforo dos ossos para o solo envolvente, em particular das extremidades esqueletizadas (Fiedler et al., 2004).

As urnas de madeira parecem acelerar a decomposição devido ao ambiente ligeiramente aeróbio que se cria no seu interior, permitindo o desenvolvimento de microrganismos aeróbios. Quando são utilizados sacos de plástico, o produto de decomposição é uma massa semi-líquida que se deve ao facto do saco não absorver os fluidos de decomposição que ficam retidos nas roupas do cadáver, não permitindo a saponificação.

Os cadáveres envoltos em tecidos de algodão decompõem-se, tal como os tecidos, devido à acção bacteriana. Em contraste, o poliéster não se decompõe facilmente pois

absorve muita humidade e permite a permuta catiónica pela difusão dos fluidos de decomposição através do material, favorecendo a saponificação e o endurecimento da adipocera (Forbes et al., 2005b).

#### **8.3.2.2. Mumificação**

A mumificação é a dissecação ou desidratação dos tecidos do cadáver, com conservação das suas características morfológicas, permitindo o reconhecimento visual. O cadáver perde entre 50 e 70% do peso, a pele retrai, ganha aspecto de couro e coloração parda. São necessárias condições ambientais que garantam a desidratação rápida de modo a impedir a acção microbiana responsável pela putrefacção (Ribeiro et al., 2007). Algumas das condições que propiciam este fenómeno são a inumação em solos secos, arenosos, com clima quente, em regiões áridas ou semi-áridas e a grandes profundidades (Silva et al., 2006).

Pode ocorrer devido à presença de nitrato de potássio no solo, que funciona como anti-séptico, ou pela falta de humidade que permita o desenvolvimento de germes putrefactivos. Existem registos da ocorrência de cadáveres mumificados após determinados tipos de morte tais como hemorragia aguda, que favorece a perda de massa líquida, e por intoxicação por arsénio, estricnina e antimónio, que dificultam a actividade microbiana. A mumificação pode ser artificial quando o cadáver é submetido a processos artificiais de conservação (Pacheco, 2006).

Este fenómeno é mais frequente em cadáveres magros e de crianças e pode ser parcial, limitando-se aos segmentos de menor tamanho como os pés ou as mãos (Galvão, 1994).

#### **8.3.2.3. Calcificação**

É um fenómeno muito raro, caracterizado pela petrificação ou calcificação do cadáver. A forma mais comum está relacionada com os fetos mortos na cavidade uterina (litopédios – criança de pedra). Também pode ocorrer quando o cadáver é inumado em solos calcários e ocorre a fossilização devido à permuta catiónica do sódio e do potássio pelo cálcio (histometabase). O resultado é uma aparência pútrida e grande peso fóssil (Galvão, 1994).

#### **8.3.2.4. Corificação**

A corificação é um fenómeno extremamente raro que ocorre em cadáveres inumados em urnas metálicas herméticas, principalmente de zinco, e o cadáver é preservado pela inibição dos factores transformativos (Bonaccorso, 2005).

A pele adquire cor e aspecto de couro curtido recentemente, o abdómen fica achatado, a musculatura e tecido subcutâneo são preservados e é libertado um líquido viscoso e turvo de cor castanha (Galvão, 1994).

#### **8.3.2.5. Congelação**

Ocorre quando o cadáver fica exposto a temperatura muito baixa por tempo prolongado (Bonaccorso, 2005).





## 9. Decomposição de cadáveres

Os factores intervenientes na decomposição de cadáveres podem ter origem intrínseca ou extrínseca. Entre os primeiros encontram-se a idade, o sexo, a raça, a constituição corporal, a flora intestinal, a causa de morte e a realização ou não de autópsia. Recém-nascidos, obesos ou corpos que sofreram mutilações, infecções ou estados gangrenosos, têm a sua decomposição acelerada. Entre os factores extrínsecos estão a temperatura, a humidade, o arejamento, a presença de insectos, larvas e microrganismos e o tipo de solo (constituição mineral, porosidade e permeabilidade, entre outros).

O conjunto de transformações físicas, químicas e biológicas que o cadáver sofre, fazem-no um ecossistema próprio ao qual se associa uma sucessão temporal de organismos necrófagos e respectivos predadores, entre os quais os microrganismos têm um papel preponderante. Os principais intervenientes são artrópodes, bactérias, microrganismos patogénicos decompositores de matéria orgânica, entre outros, podendo pôr em risco o ambiente e a saúde pública (Almeida e Macêdo, 2005). O grau de actuação destes decompositores varia em função das condições ambientais e também da profundidade a que o cadáver está inumado, uma vez que o número de colonizadores diminui com a profundidade (Rodrigues, 2002).

Ao longo do processo de decomposição, os tecidos moles de cadáveres que não foram sujeitos a processos de conservação artificial, são destruídos por acção bacteriana e enzimática, dando-se a sua dissolução gradual em gases, líquidos e sais minerais (Dent et al., 2004). Devido à enorme quantidade de compostos orgânicos presentes no cadáver, a sua decomposição conduz a uma enorme variedade de produtos finais (Rodrigues, 2002).

A decomposição é um processo progressivo que se deve à acção de diversos microrganismos, principalmente aos que fazem parte da flora intestinal do próprio indivíduo, muitos dos quais são patogénicos e estão associados a surtos de doenças de veiculação hídrica. No entanto, quando se trata de bactérias causadoras da morte, estas desaparecem rapidamente pois geralmente encontram um ambiente desfavorável à sua sobrevivência. As bactérias que se encontram nas vias respiratórias e os fungos saprófitos do próprio cadáver também têm um papel importante no processo de decomposição dos tecidos.

As bactérias podem penetrar as paredes do intestino durante o processo da morte e ser distribuídas pelos tecidos através da corrente sanguínea. No entanto, as defesas não estão completamente inactivas até 48 horas após a morte e assim podem impedir ou destruir os organismos, a não ser que sejam de um tipo não encontrado previamente no hospedeiro (Üçisik e Rushbrook, 1998). O tempo de transmissão dos microrganismos para a superfície externa da parede intestinal depende da temperatura: a 37°C aparecem as primeiras espécies bacterianas ao fim de 2 a 3 horas após a morte, a 25 °C, ao fim de 5 a 6 horas e a 4°C, apenas passadas 66 a 68 horas (Rodrigues, 2002). Apesar do intestino alojar uma grande variedade de microrganismos, apenas poucos grupos colonizam o cadáver durante a putrefacção, pois 90% dos organismos encontrados nos tecidos humanos são anaeróbios obrigatórios e o meio envolvente geralmente é aeróbio (Üçisik e Rushbrook, 1998).

O potencial redox dos tecidos diminui rapidamente após a morte e, no momento em que se perde a actividade anti-microbiana, é suficientemente baixo para prevenir os organismos aeróbios de prosperar mais do que à superfície.

Os organismos aeróbios esgotam o oxigénio presente nos tecidos do cadáver, deixando as condições favoráveis para a actividade dos organismos anaeróbios (Dent et al.,

2004). Os primeiros microrganismos anaeróbios a surgir são do género *Clostridium spp.* (com capacidade para crescer a temperaturas sub-óptimas), *Neisseriaceae* e *Pseudomonadaceae*. Posteriormente, ocorrem estreptococos, *Bacillus spp.* e géneros das famílias *Enterobacteriaceae* (frequentemente *E. coli* e *Proteus spp.*) e *Micrococcaceae* (frequentemente *Staphylococcus aureus*) (Rodrigues, 2002).

As alterações bioquímicas iniciam-se com a autólise das células que constituem os tecidos moles, processo que consiste na auto-digestão das mesmas pela acção de enzimas intra e extra-celulares e que ocorre sem a intervenção de agentes externos ao cadáver. À autólise segue-se uma série de processos do tipo fermentativo, protagonizados por diversas espécies bacterianas, que levam à decomposição dos hidratos de carbono, das proteínas e dos lípidos. Se os hidratos de carbono forem fermentados por bactérias coliformes, os produtos são ácido láctico, acético e fórmico, etanol, dióxido de carbono e hidrogénio. Caso ocorra fermentação propiônica ou butírica também se formam ácido propiônico ou butírico, respectivamente. Os produtos resultantes da decomposição anaeróbia de proteínas variam em função do tipo de microrganismos que actua e, de uma forma geral, são ácido acético, amoníaco, dióxido de carbono, ácido propiônico, fumárico e pirúvico e as aminas putrescina e cadaverina. Em meio anaeróbio, os lípidos originam um produto final polimorfo, constituído, principalmente, por aldeídos e ácidos gordos de cadeia curta e, em meio aeróbio, transformam-se em dióxido de carbono e água. Os fosfolípidos podem ser degradados a fosfato, glicerol, ácidos gordos e bases azotadas. À formação de gases e libertação de miasma está associada uma variação de pH do solo.

A decomposição também resulta em vários tipos de aniões e catiões. Durante a decomposição dos cadáveres, os electrólitos são os primeiros a serem lixiviados dos tecidos moles e a saturar o solo. Com o tempo, os electrólitos são adsorvidos pela matriz sólida das partículas do solo ou são incorporados na biomassa microbiana. Os iões que se libertam posteriormente são retidos pela matriz orgânica formada pela decomposição das proteínas e hidratos de carbono. Alguns autores constataram que no início da decomposição se assiste a uma perda muito rápida de elementos para o solo, que é seguida por um decréscimo igualmente rápido desses elementos quando os tecidos estão completamente decompostos. A diminuição é justificada, em parte, pelo facto das bactérias passarem a utilizar vias metabólicas alternativas (como a redução de nitratos), quando as suas fontes de carbono e azoto terminam. Posteriormente, há um novo aumento dos aniões e catiões no solo, tendo sido detectadas concentrações elevadas de cálcio e magnésio, cuja origem parece estar relacionada com a morte das populações bacterianas e a decomposição dos ossos (Dent et al., 2004).

Vass, em 1992, estudou a presença dos aniões  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  e dos catiões  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{HN}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ , na fase aquosa do solo junto a cadáveres e todos eles atingem os níveis base ao fim de um ano, à excepção do sulfato e do cálcio, cujos teores encontrados foram significativamente elevados, mesmo ao fim de quatro anos.

Os componentes proteicos são lixiviados rapidamente, ao passo que o composto mineral parece friável. A decomposição dos tecidos moles envolve não só os órgãos minerais, mas também estruturas como a epiderme, que é bastante resistente à decomposição. A melanina é um pigmento constituído por anéis fenólicos, o que torna o processo de decomposição muito lento, para além de ser solúvel apenas a pH alcalino.

Um ambiente oxigenado aumenta a taxa de decomposição. O teor de oxigénio disponível na sepultura é limitado e o seu contínuo envolvimento depende da difusão gasosa na sepultura e no solo. É comum que a urna de madeira, ou similares, colapse

pouco após a inumação, deixando o cadáver em contacto directo com o solo envolvente e permitindo a rápida dispersão do oxigénio e gases da decomposição.

A inumação típica envolve processos físicos para escavação do solo, inumação do cadáver e sua cobertura com solo. Estes processos interferem com a infiltração de água e com a difusão gasosa natural do solo. O solo que cobre a urna é humedecido e compactado, mas a porosidade efectiva e a permeabilidade são maiores do que as do material idêntico que não foi perturbado. Junto da urna, o peso volúmico do solo aumenta devido à presença física de escavadores ou à compactação mecânica e fica retida uma quantidade maior de oxigénio (Dent et al., 2004).

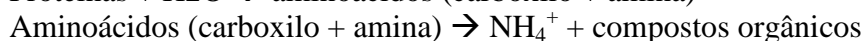
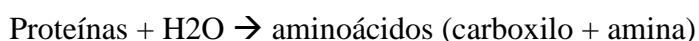
### 9.1. Composição do miasma

O miasma é aqui tratado como a substância líquida resultante do processo de decomposição de cadáveres, cuja formação depende das condições ambientais. Para solos secos, com teor de argila entre 20 e 40%, a massa volúmica média do miasma é 1,23 g/cm, a relação entre o volume de miasma e o peso do cadáver é de 0,60 l/kg e na sua composição média tem 60% de água, 30% sais minerais e 10% substâncias orgânicas complexas. Tem odor forte e desagradável, é polimerizável e tem cor acinzentada.

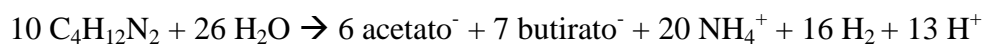
Em função da viscosidade e massa volúmica do miasma em relação à água, formam-se plumas de contaminação que se propagam pelo solo saturado, com velocidade variável, e podem alcançar distâncias significativas.

Dependendo das condições geológicas do meio, a composição do miasma pode propiciar a sobrevivência e proliferação de microrganismos oriundos da decomposição, e a consequente perigosidade do líquido que pode conter bactérias, vírus e substâncias químicas orgânicas e inorgânicas, favorecida pela falta de oxigénio dissolvido na água subterrânea, que diminui com o aumento da profundidade.

O miasma tem na sua composição cadaverina ( $C_5H_{14}N_2$ : 1,5 – pentanodiamina) e putrescina ( $C_4H_{12}N_2$ : 1,4 – butanodiamina), dois venenos resultantes da decomposição proteica para os quais ainda não se possuem antídotos eficientes. Em condições anaeróbias, estas duas diaminas podem ser hidrolisadas, formando ião amónio (Matos, 2001):



Para Madigan (1997), os clostrídios sulfito redutores obtêm a sua energia através da fermentação de aminoácidos e são capazes de fermentar a putrescina a ião amónio:



Na presença de oxigénio, o ião amónio é transformado em nitrato:



Contudo, o perigo do miasma reside mais na carga contaminante constituída pelos microrganismos do que na toxicidade das diaminas (Rodrigues, 2002), embora a sua composição microbiológica não seja bem conhecida. Atendendo à sua composição química, é provável que estejam presentes bactérias decompositoras de matéria orgânica (bactérias heterotróficas), de proteínas (bactérias proteolíticas) e de lípidos (bactérias

lipolíticas). Deve conter também bactérias que são normalmente excretadas por humanos e animais, como *E. coli*, *Enterobacter*, *Klebsiella* e *Citrobacter* (as quatro formas do grupo Coliformes Totais), *Streptococcus*, alguns clostrídios sulfito redutores, como *Clostridium perfringes* e *Clostridium welchii*, entre outros. É ainda provável que estejam presentes bactérias patogénicas e vírus humanos (Matos, 2001).

Estima-se que mais de metade do miasma seja libertado pelos cadáveres durante o primeiro ano e menos de 0,1% permanece após 10 anos. O tempo para que os contaminantes sejam lixiviados do local de inumação está directamente relacionado com a precipitação e taxa de infiltração no solo e na sepultura. O transporte pode dar-se num raio superior a 400 m e é acelerado pela água das chuvas (Silva et al., 2006).

Ao longo do tempo, o miasma decompõe-se, devido à capacidade depurativa do solo, e reduz-se a substâncias simples e inofensivas.

Nos jazigos, dependendo das condições de estanquidade e confinamento, o miasma seca naturalmente, polimeriza-se, reduz-se a pó e não se infiltra no solo envolvente. Mas, se forem construídos indevidamente, pode tornar o ambiente insalubre e provocar infiltração nas paredes, libertar odores e atrair insectos (Campos, 2007).

Silva, 1995, realizou ensaios de secagem de miasma e concluiu que o líquido se polimeriza e pulveriza à razão de 1 litro a cada 84 horas e reduz-se a cerca de 50 g de pó inerte de cor esbranquiçada (Campos, 2007).

Para estimar a composição média de efluente que atinge a água subterrânea abaixo das sepulturas, os contaminantes libertados são divididos pela infiltração total anual. A título de exemplo, um cadáver embalsamado contém cerca de 180 g de formaldeído em 9 l de fluido de embalsamento. Assumindo que metade deste é degradado rapidamente no processo de decomposição e com cobertura de relva a controlar a infiltração da água de precipitação, a concentração inicial no efluente seria cerca de 90 mg/l. Após 4 anos, este valor diminui para cerca de 5 mg/l e 10 anos depois para apenas 0,1 mg/l. No entanto, estas estimativas não têm em conta a degradação natural do formaldeído no solo e por isso a concentração provavelmente será menor (Environment Agency, 2004).

No entanto, a quantidade de produtos lixiviados das sepulturas de uma UC é extremamente difícil de quantificar no espaço e no tempo, dependendo da antiguidade da unidade, da sua dimensão e do número de sepulturas familiares com inumações a várias profundidades. Estes factores também afectam a distribuição, espacial e temporal, das inumações na área da unidade. No entanto, uma primeira aproximação pode ser feita com base no número de inumações, peso estimado dos cadáveres inumados em função do sexo e idade e na quantidade estimada de produção de miasma por cadáver (Dent et al., 2004).

## 9.2. Agentes causadores de doenças de veiculação hídrica

A Organização Mundial de Saúde (OMS) relata que 80% das doenças nos países em desenvolvimento são causadas pela contaminação da água, dado que apenas 30% da população mundial tem acesso a água potável. Estas doenças podem ser transmitidas por bactérias, fungos, vírus, protozoários e helmintos. A transmissão pode ocorrer quando o ser humano consome água ou alimentos lavados ou cultivados com água contaminada. Factores como o tipo do solo, quantidade de chuvas, tipo de inumação e profundidade das águas subterrâneas, combinados à falta de higiene, fazem das UC depósitos de microrganismos nocivos ao ser humano (Costa e Souza, 2007). Estes microrganismos podem ser lixiviados e contaminar águas subterrâneas e superficiais e os maiores problemas estão associados aos vírus devido à sua capacidade de sobrevivência,

mobilidade, adaptação ao ambiente adverso, mutação e percolação através de meios semi-permeáveis (Lopes, 2007).

O risco de proliferação de mosquitos, como o *Aedes Aegypti*, transmissor de dengue e febre tifóide, também deve ser neutralizado através de práticas adequadas.

Na tabela seguinte são apresentados alguns protozoários, bactérias e vírus encontrados na água e que podem ser causadores de doenças de veiculação hídrica, sendo incluídas informações acerca do seu tamanho médio e as principais doenças que podem provocar no homem.

Tabela 3: Patogénicos humanos encontrados em água.

Tipo	Tamanho	Doenças
<b>Protozoários</b>	<b>(<math>\mu\text{m}</math>)</b>	
<i>Cryptosporidium</i>	4 – 6	Gastroenterite
<i>Entamoeba histolytica</i>	20 – 40	Amebíase
<i>Giardia lamblia</i>	6 – 12	Gastroenterite
<b>Bactérias</b>	<b>(<math>\mu\text{m}</math>)</b>	
<i>Escherichia coli</i>	1,1 – 1,5 x 2,0 – 6,0	Diarreia; Dores abdominais
<i>Legionella pneumophila</i>	0,3 – 0,9 x 2,0 – 20	Pneumonia; Febre
<i>Leptospira interrogans</i>	0,1 x 6,0 – 12	Leptospirose
<i>Salmonella typhi</i> ; <i>S. paratyphi</i>	0,7 – 1,5 x 2,0 – 5,0	Febre tifóide/paratifóide
<i>Shigella dysenteriae</i> ; <i>S. flexneri</i> ; <i>S. sonnei</i>	0,7 – 1,5 x 2,0 – 5,0	Fibre intestinal; Gastroenterites; Disenteria
<i>Vibrio cholerae</i>	0,5 – 0,8 x 1,4 – 2,6	Cólera
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	1,0 – 4,0	Tuberculose
<i>Brucella abortus</i>		Brucelose
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0,5 – 0,8	Doenças pulmonares; Infecções urinárias e sanguíneas
<i>Streptococcus</i>	0,5 – 2,0	Infecções estreptocócicas
<i>Clostridium tetani</i> ; <i>C. botulinum</i> ; <i>C. difficile</i> ; <i>C. perfringens</i> ; <i>C. welchii</i>	4,0 – 8,0	Tétano; Gangrena gasosa; Intoxicação alimentar; Botulismo
<i>Proteus spp.</i>	0,2 – 3,0	Gastroenterites
<b>Vírus</b>	<b>(nm)</b>	
Adenovírus	100	Infecções respiratórias, oculares e gastrointestinais
Agente Norwalk	30 – 38	Gastroenterite; Vômitos; Diarreia
<b>Enterovírus:</b>		
Coxsackie humano A1 a A22, A24, B1 a B6	22 – 30	Doenças respiratórias; Meningite; Miocardite
Echo humano 1 a 7, 11 a 27, 29 a 33	22 – 30	Meningite; Doenças respiratórias; Erupções cutâneas; Diarreia; Febre
Hepatovírus (Hepatite A)	22 – 30	Hepatite; Gastroenterite
Poliovírus humano 1, 2, 3	22 – 30	Paralisia; Meningite; Febre
Reovírus 1, 2, 3	60 – 80	Infecções do trato respiratório e gastrointestinais
Rotavírus	70	Gastroenterite; HIV; Leucemia

Adaptado de: (Matos, 2001) e (www.textbookofbacteriology.net)

### 9.3. Melhor destino para cadáveres atípicos

A legislação portuguesa não prevê o destino final de cadáveres portadores de doenças infecto-contagiosas ou que foram sujeitos a quimio ou radioterapia. Esta é considerada uma questão bastante grave, dado que várias pessoas têm contacto com o cadáver, estando por isso sujeitas à contaminação.

Alguns pesquisadores detectaram a presença de radioactividade num raio de 200 m das sepulturas de cadáveres que em vida foram submetidos a tratamentos radioactivos ou que tinham *pacemaker* (Romanó, 2005).

Apenas a cremação permite que a eliminação dos agentes contagiosos seja completa e, no caso dos cadáveres que sofreram tratamento radiológico, as cinzas devem ser classificadas como resíduos perigosos. Estes cadáveres não devem ser alvo de práticas artificiais de conservação.

De forma a evitar a exposição, quer em casos de perigo de contaminação quer em casos normais, deve existir um processo de intervenção que actue desde a morte, com técnicos especializados a acompanhar o cadáver, garantindo que todas as condições de salubridade sejam cumpridas (Silva et al., 2006).

## 10. Água Subterrânea

### 10.1. Solo

O solo é a camada mais externa da crosta terrestre composta por matéria mineral sólida (rochas e minerais) e matéria orgânica, que interage com a água, o ar e os organismos vivos, sendo a interface entre a atmosfera, hidrosfera e geosfera, servindo de suporte aos organismos vivos.

A fracção sólida do solo estrutura-se formando elementos de ligação, chamados colóides, que funcionam como um “cimento” e cuja fase dispersa apresenta partículas com dimensão entre 0,001 e 0,1  $\mu\text{m}$ , que podem ser sais minerais (argila) ou orgânicos (húmus). Estes elementos são responsáveis pela estrutura do solo e têm muita influência na facilidade de penetração das raízes, na percolação e armazenamento de água no solo, na resistência à erosão e na porosidade. Além de estruturarem o solo também se constituem na parte quimicamente activa, armazenando os nutrientes minerais que são alimentos para plantas e microrganismos. Quando se fala na matéria orgânica do solo, incluem-se no mínimo quatro grupos: vegetais e animais vivos (matéria vegetal, microrganismos e animais), matéria orgânica fresca (resíduos orgânicos sem vida que expostos no solo vão sofrer a acção de microrganismos), produtos transitórios (matéria orgânica já parcialmente modificada pelos microrganismos) e húmus estável (compostos húmicos sintetizados ao longo do processo de humificação) (Rocha et al., 2005).

A dinâmica da formação de solos traduz-se em processos de fragmentação de natureza físico-química e meteorização das rochas, além do transporte, sedimentação e evolução pedogénica. Entre os factores da pedogénese que mais influenciam a formação e a evolução dos solos destacam-se o clima (principalmente a temperatura e a precipitação), a natureza da rocha-mãe, o relevo, os seres vivos e o tempo de actuação de todos estes factores. Ligeiras diferenças permitem a génese de diferentes tipos de solos e a sua diferenciação em camadas, podendo ocorrer grandes variações numa curta distância. A diferenciação do solo em camadas tem implicações na migração e destino dos contaminantes na subsuperfície. Os vários estratos horizontais sobrepostos são designados horizontes do solo e distinguem-se entre si pela mudança de propriedades físicas, a constituição, a textura e a compacidade. A sucessão desses horizontes constitui o perfil do solo. Geralmente, os horizontes encontram-se tanto melhor definidos quanto mais evoluído é o solo.

O solo desempenha uma grande variedade de funções vitais, de carácter ambiental, ecológico, social e económico. Constitui um importante elemento paisagístico, patrimonial e físico para o desenvolvimento de infra-estruturas e actividades humanas, uma vez que é um recurso complexo, dinâmico, interactivo e não renovável, cada vez mais sob a pressão das actividades antropogénicas. A protecção e a limitação dos processos de degradação deste recurso são imprescindíveis para a sua sustentabilidade. (Charbeneau, 2000)

A poluição é a introdução, pelo homem, de substâncias e energia no ambiente, susceptíveis de causar problemas de saúde pública, em organismos vivos ou sistemas ecológicos, prejudicar estruturas ou sua funcionalidade e interferir com usos legítimos do ambiente (Holdgate et al., 1979).

Actualmente não se pode dizer que existem solos perfeitamente não contaminados pois os níveis de poluição são influenciados também pelas práticas agrícolas e pela deposição aérea de contaminantes naturais ou antropogénicos. Mesmo os solos que aparentemente não foram afectados pelas actividades humanas podem revelar níveis de



elementos naturais superiores aos normais, o que pode não se encontrar relacionado com a poluição. A lista de fontes de poluição do solo é extensa e indicia que a contaminação se pode verificar anteriormente à entrada em contacto dos poluentes com o solo (Dinis e Fraga, 2005).

A contaminação do solo pode resultar na perda de algumas ou várias funções do solo e ainda provocar contaminação da água subterrânea. Os impactes sobre os solos podem dividir-se entre perturbações físicas com alterações na estrutura e efeitos poluentes provocados pela adição ou remoção de substâncias ou calor.

Os instrumentos reguladores dos usos do solo devem conhecer e considerar o meio físico quanto ao uso e ocupação do solo, considerando os condicionamentos naturais representados pela topografia, geomorfologia, cobertura vegetal, tipo de solo, condições geológicas, sistema natural de drenagem e condições climáticas. Estes parâmetros devem ser analisados em conjunto para permitir a avaliação do tipo e da adequabilidade de uma área ou região a ser ocupada. O uso racional de um território só é possível se houver respeito aos limites de tolerância que o ambiente físico impõe às formas de ocupação de modo a que a utilização seja sustentável. Para que se estabeleçam e indiquem as potencialidades e limitações do local avaliado são necessários estudos geológicos e geotécnicos para o planeamento urbano (Campos, 2007).

A geologia é a área de estudo das formações da subsuperfície para obter informações litológicas, estratigráficas e estruturais. A litologia trata as características físicas das rochas ou sedimentos do sistema geológico, incluindo a composição mineral, granulometria e compactação. A estratigrafia descreve as relações geométricas e idade entre várias lâminas, camadas e formações dos sistemas geológicos de origem sedimentar. Os parâmetros estruturais incluem fracturas, dobras e falhas formadas devido a deformações posteriores à formação do sistema geológico. Em depósitos não consolidados, a litologia e a estratigrafia são os factores de maior importância.

A hidrogeologia estuda os aspectos quantitativos e qualitativos da ocorrência, distribuição e movimento da água abaixo da superfície da Terra, o comportamento dos aquíferos conforme o tipo de formações geológicas e a gestão, contaminação e remediação que o homem lhes pode dar (Charbeneau, 2000).

## **10.2. Água no solo**

O ciclo hidrológico inclui os reservatórios em que a água é armazenada e os processos de transferência entre reservatórios. Os principais processos de transferência são a precipitação, evapotranspiração (que engloba a evaporação e a transpiração), infiltração, fluxo subterrâneo e escoamento superficial. Da água que se infiltra no terreno, uma parte adere às partículas do solo e o excedente da capacidade de retenção da formação geológica percola para profundidades maiores, por acção da gravidade.

O solo divide-se em zona não saturada, imediatamente abaixo da superfície, em que os poros se encontram preenchidos por ar e água, e zona saturada em que todos os espaços estão preenchidos por água. A água armazenada na zona saturada é chamada água subterrânea e a água armazenada na zona não saturada é chamada humidade do solo (Charbeneau, 2000).

Na zona não saturada a água pode estar retida por forças capilares ou por atracção eléctrica. As tensões superficiais geradas pelo contacto entre o ar e a água, associadas à tendência das moléculas de água aderirem aos sólidos, faz com que a água seja retida por forças capilares nos finos canículos existentes nos solos. Esta água forma uma franja de

distribuição irregular e é a água do solo que as plantas usam. O carácter dipolar das moléculas de água e das superfícies dos cristais sólidos levam à retenção de água por atracção eléctrica. Os sais dissolvidos tendem a reter a própria água com uma intensidade igual à pressão osmótica da solução, sendo necessários procedimentos especiais para separar esta água do solo. Hidrologicamente esta água tem pouca importância já que não se move pela gravidade e a força de sucção das raízes é geralmente inferior à força que a retém (Marques da Silva, 2003).

A zona não saturada é caracterizada pela presença de uma fase gasosa, pressão negativa da água, movimento da água predominantemente na vertical e em contínuo, reacções geoquímicas e bioquímicas intensas, e retenção de poluentes em grande escala, mediante processos físicos, químicos e biológicos. Estes processos são a diluição, filtração, absorção, adsorção, dissolução, precipitação, hidrólise, transformações bioquímicas e geoquímicas, permuta iónica e volatilização (Migliorini et al., 2007).

Na zona saturada, encontra-se a água subterrânea que, apesar de estar armazenada, não está retida por ele, pois circula por efeito dos gradientes piezométricos. O limite superior da zona saturada é chamado nível freático em que a pressão hidrostática é igual à pressão atmosférica.

Quando o nível freático intercepta a superfície do terreno a água é descarregada naturalmente, alimentando nascentes e cursos de água. Esta água também pode ser captada artificialmente, através de furos ou poços que, ao atingirem o nível freático, encham devido aos gradientes piezométricos. Geralmente, o nível freático segue a forma da superfície do solo mas com menos relevo.

Qualquer ponto situado abaixo da superfície freática está submetido à pressão atmosférica mais o peso da coluna de água subterrânea que está sobre ele. Os pontos de água que estão acima da superfície freática estão a uma pressão inferior à atmosférica, formando a franja capilar. Nesta, a água fica retida por uma pequena pressão nos vazios, estendendo-se do nível de saturação até ao limite de ascensão capilar. Esse limite depende do tipo de terreno e a intensidade aumenta com a diminuição do índice de vazios, podendo variar de alguns milímetros, nos solos arenosos, até vários metros, nos solos finos e/ou argilosos (Charbeneau, 2000).

A água subterrânea constitui a fonte mais vasta de água doce disponível para o homem, correspondendo a cerca de 95% das reservas mundiais (Instituto da Água, 2002).

### 10.3. Tipos de aquíferos

Um aquífero é definido, pelo DL n.º 58/2005, de 29 de Dezembro, como “ (...) *uma ou mais camadas subterrâneas de rocha ou outros estratos geológicos suficientemente porosos e permeáveis para permitirem um escoamento significativo de águas subterrâneas ou a captação de quantidades significativas de águas subterrâneas*”.

A recarga dos aquíferos corresponde à quantidade de água que, depois de se infiltrar na superfície do solo, percola na vertical, e atinge o aquífero. Depende da precipitação, do escoamento superficial e da evapotranspiração, que, por sua vez, dependem da topografia, da altitude, da temperatura, da cobertura e porosidade, entre outros. Uma pequena parte pode ter origem juvenil, isto é, nas emanações magmáticas, e outra parte pode estar retida nas rochas desde a sua formação (Migliorini et al., 2007).

A água pode percolar através de meios porosos, fracturados e cárscicos. Um meio poroso tem espaços relativamente pequenos (poros) na matriz sólida que permitem a passagem de fluidos, ou seja, é permeável. Um meio fracturado tem pequenas aberturas

numa direcção e relativamente extensas em duas direcções. Um meio cársico, como as rochas calcárias com grandes cavidades de dissolução, tem grandes aberturas. Em meios cársicos e fracturados a natureza do escoamento depende da extensão lateral e da conectividade dos espaços (Charbeneau, 2000). Então, nos solos, sedimentos e rochas sedimentares, os espaços vazios ocupados pelas águas subterrâneas correspondem aos poros e, nas rochas ígneas e metamórficas cristalinas, os espaços vazios são as fracturas das mesmas.

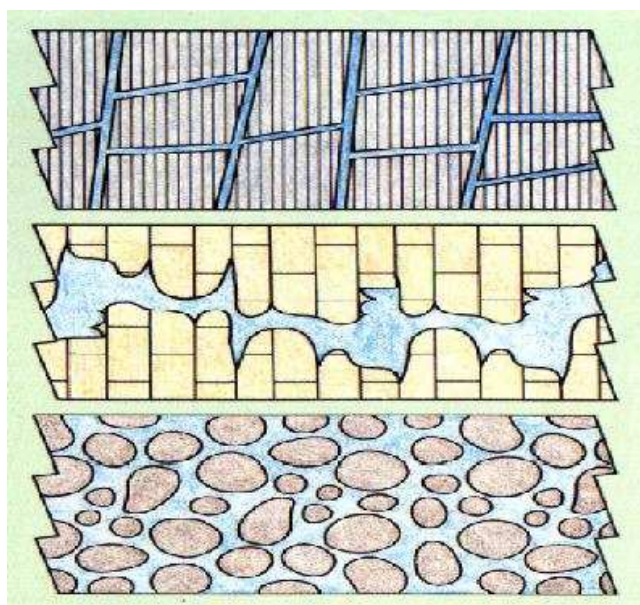


Figura 1: Tipos de aquífero. Fonte: (www.aprh.pt)

A primeira secção do esquema representa um aquífero fracturado ou fissurado no qual a permeabilidade e a porosidade estão relacionadas com fracturas que afectam o material de suporte. Na segunda secção é representado um aquífero cársico em que as cavidades resultam da dissolução da rocha pela passagem da água. A terceira secção representa um aquífero poroso em que os poros resultam da disposição dos grãos (por exemplo, areias) (www.aprh.pt). As fendas e tocas de animais podem facilitar a recarga aquífera porque encurtam os caminhos relacionados com a porosidade primária. As rochas podem ser fracturadas devido a forças sísmicas, aumentando a sua permeabilidade mas não a capacidade de armazenar a água devido à ausência de espaços porosos.

Para que uma camada geológica seja confinante é necessário que tenha pouca ou nenhuma permeabilidade. As camadas confinantes são subdivididas em três tipos (Migliorini et al., 2007):

- Aquitardo – formação geológica pouco porosa e pouco permeável. As suas condições de armazenamento e circulação de água são limitadas. Por exemplo: mistura de siltitos, areias finas argilosas, argilas arenosas, etc.
- Aquicludo – formação geológica de elevada porosidade e baixa permeabilidade. Por exemplo: argilas, argilitos, folhelhos, etc.
- Aquífugo – formação geológica completamente impermeável, não armazena nem transmite água subterrânea. Por exemplo: granitos, gnaisses e basaltos sem alteração nem fracturas.

Com base na natureza das camadas confinantes, podem-se distinguir três tipos de aquíferos. Um aquífero confinado é limitado superior e inferiormente por aquícludos ou aquífuges, a água está sob pressão e o nível freático pode estar acima do topo do aquífero. Quando isto acontece, o aquífero é artesiano. Um aquífero não confinado, livre ou freático apenas tem camada confinante na parte inferior, permitindo a recarga por infiltração da água das chuvas. O nível freático corresponde à superfície superior da zona saturada e encontra-se sob a acção da gravidade e da pressão atmosférica. Geralmente este tipo de aquífero é o mais explorado para abastecimento. Nos aquíferos semi-confinados uma das camadas confinantes é um aquícardo (Charbeneau, 2000).

Os aquíferos suspensos e os aquíferos cársticos são dois tipos especiais de armazenamento e circulação de água. O aquífero suspenso é um caso especial de aquífero livre, em que uma camada relativamente impermeável retém pequenos volumes de água subterrânea na zona não saturada. O aquífero cárstico armazena água nas rochas solúveis em água. A percolação da água dissolve lentamente a rocha, podendo formar grandes cavernas e canais por onde circulam rios subterrâneos (Migliorini et al., 2007). Na Figura 2 encontram-se esquematizados alguns tipos de aquífero.

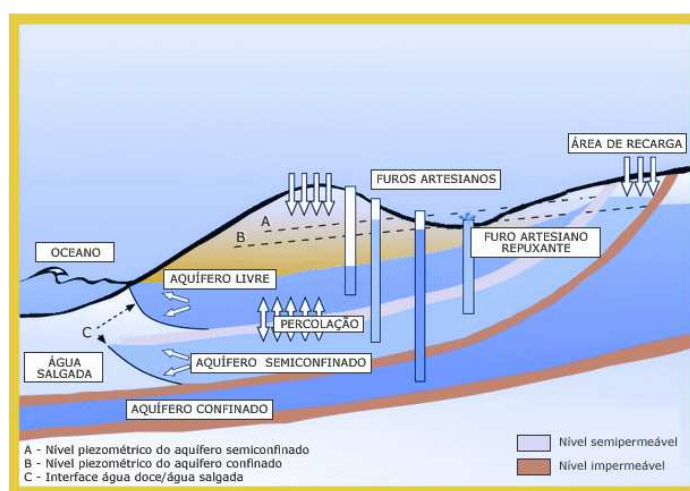


Figura 2: Exemplos de aquíferos. Fonte: (<http://snirh.inag.pt/junior/agsub/images/aquifero.png>)

As melhores condições de armazenamento e circulação de água ocorrem nas rochas sedimentares, formando extensos aquíferos. Nas rochas cristalinas, que formam a maior parte da superfície terrestre, as fracturas são geralmente muito pequenas, não possibilitando bons aquíferos. As melhores condições aquíferas ficam restritas às zonas de fractura e ao manto superficial (material que sofreu decomposição e desintegração da rocha original e que cobre a rocha fresca) (Charbeneau, 2000).

As rochas são constituídas por grãos minerais sólidos interligados e por discontinuidades ou vazios existentes entre esses grãos. As propriedades da matriz rochosa dependem das características destes grãos (mineralogia), sendo muito influenciadas pelo tamanho e arranjo espacial dos grãos minerais (estrutura ou textura da rocha) e também pela forma, quantidade e distribuição das discontinuidades ou vazios. A determinação da composição mineralógica das rochas conduz, juntamente com a sua textura, tamanho dos grãos, cor, e outras propriedades, à sua classificação geológica (FEUP, 2009).

Os meios porosos de maior interesse são os solos naturais (sofreram pouca meteorização), sedimentos não consolidados e rochas sedimentares. Todos são materiais

granulares contendo minerais amorfos e matéria orgânica e o seu comportamento, em termos de retenção e transmissão de água, é determinado pela gama de tamanhos das partículas e espaços porosos que o constituem.

Solos naturais e sedimentos não consolidados podem ser compostos por partículas com grande variação na escala de tamanhos e formas pelo que as classes de textura do solo são utilizadas para transmitir uma ideia do seu arranjo e propriedades físicas. Qualitativamente, permite distinguir se o solo é grosseiro e pedregoso ou fino e regular e quantitativamente denota as proporções das várias gamas de tamanhos que ocorrem num solo. Os solos podem ser agrupados em três tipos principais: areias, margas e argilas e a percentagem mássica relativa de cada um dos diferentes tipos determina a textura de um solo. Na tabela seguinte, resumem-se as classes de solo de acordo com o diâmetro das partículas que o constituem.

Tabela 4: Classes de solo de acordo com o diâmetro das partículas que o constituem.

Classe	Diâmetro (mm)
<b>Cascalho</b>	>2
<b>Areia</b>	0,05 – 2
Muito grosseira	1 – 2
Grosseira	0,5 – 1
Média	0,25 – 0,5
Fina	0,10 – 0,25
Muito fina	0,05 – 0,10
<b>Marga</b>	0,002 – 0,05
<b>Argila</b>	<0,002

Adaptado de: (Charbeneau, 2000)

Muitas características do solo estão relacionadas com a sua textura. Solos de granulometria fina têm maior área superficial e a sua estrutura mineral confere-lhe grande capacidade para adsorver químicos. Por outro lado, solos de granulometria grosseira e de distribuição uniforme têm baixa capacidade de adsorção e permeabilidade elevada (Charbeneau, 2000).

Existem várias propriedades importantes que influenciam a capacidade de um aquífero armazenar, transmitir e fornecer água. Estas incluem a porosidade total, porosidade efectiva, permeabilidade intrínseca, condutividade hidráulica, transmissividade, rendimento específico, retenção específica e coeficiente de armazenamento (Hudak, 1999).

- Porosidade total – é a percentagem de volumes vazios de uma rocha ou amostra de solo. É relativamente elevada nas argilas devido à irregularidade dos grãos que não compactam bem e a carga electrostática na superfície dos minerais de argila faz com que as partículas se afastem. A porosidade total é moderadamente elevada para a maior parte dos sedimentos não consolidados, é baixa para rochas sedimentares (os poros estão quase todos cimentados) e é extremamente baixa em rochas ígneas e metamórficas cujos minerais formam uma malha densa quando as rochas se formam. Sedimentos com partículas de tamanho uniforme têm elevada porosidade pois não existem partículas menores que preenchem os vazios. Grãos mais angulosos têm maior porosidade do que grãos arredondados (grau de compactação).

Tabela 5: Valores típicos de porosidade.

<b>Materiais</b>	<b>N</b>
<b>Material não consolidado</b>	
Cascalho	0,20 – 0,40
Areia	0,25 – 0,55
Marga	0,35 – 0,60
Argila	0,35 – 0,65
<b>Rochas sedimentares</b>	
Arenito	0,05 – 0,50
Calcário, dolomite	0 – 0,30
Calcário cársico	0,05 – 0,50
Xisto	0 – 0,10
<b>Rochas cristalinas</b>	
Basalto	0,05 – 0,35
Basalto fracturado	0,05 – 0,50
Rocha cristalina densa	0 – 0,05
Rocha cristalina fracturada	0 – 0,10

Adaptado de: (Charbeneau, 2000)

- Porosidade efectiva – corresponde à percentagem de volume que consiste em poros interligados através dos quais a água escoar. Para sedimentos não consolidados, a porosidade efectiva é aproximadamente igual à porosidade total mas é significativamente inferior para rochas petrificadas.
- Permeabilidade intrínseca – capacidade de um meio poroso transmitir fluidos, independentemente do fluido. A permeabilidade aumenta com o aumento do tamanho médio dos grãos e diversidade de espécies (triagem). A meteorização e a fracturação podem aumentar bastante a permeabilidade das rochas. Em rochas solúveis, a circulação da água aumenta gradualmente a dimensão das fracturas. Todos os minerais são solúveis até certa extensão, mas carbonatos e evaporitos são particularmente susceptíveis à dissolução.
- Condutividade hidráulica – tem em conta a permeabilidade do aquífero e o fluido que é transmitido. Em muitos aquíferos a condutividade hidráulica varia com a direcção e localização. Num aquífero isotrópico, a magnitude da condutividade hidráulica é igual em todas as direcções, ou seja, o aquífero é homogéneo. Condições anisotrópicas são verificadas em aquíferos em que a condutividade hidráulica varia com a direcção, ou seja, existe variabilidade direccionada. Em muitos depósitos em camadas, a razão condutividade hidráulica vertical/horizontal pode estar entre 1/10 e 1/1000. Este padrão resulta dos grãos serem compactados verticalmente e alongados na horizontal pois os fluidos movem-se mais facilmente na direcção paralela aos grãos alongados. Em contraste, a condutividade hidráulica vertical e horizontal são quase iguais para grãos esféricos que podem ser encontrados em praias antigas e em depósitos dunares.
- Transmissividade – quantifica a água que pode ser transmitida horizontalmente através da camada saturada de uma unidade. Iguala o produto da condutividade hidráulica pela espessura saturada.
- Rendimento específico – é o volume de água drenado por gravidade dividido pelo volume total de amostra do aquífero saturado. O rendimento específico da maior parte dos aquíferos confinados varia entre 10 e 30%. Valores mais

elevados estão associados a sedimentos grosseiros, como se mostra na tabela seguinte.

Tabela 6: Valores representativos do rendimento específico de sedimentos não consolidados.

Sedimento	Rendimento específico (%)
Argila	2
Argila arenosa	7
Aluvião	18
Areia fina	21
Areia média	26
Areia grosseira	27
Cascalho fino	25
Cascalho médio	23
Cascalho grosseiro	22

Adaptado de: (Hudak, 1999)

- Retenção específica – é o volume de água retido contra a gravidade dividido pelo volume de amostra. Uma amostra saturada não liberta toda a água por drenagem gravitacional, sendo a água pendular deixada para trás. As forças de atracção e de coesão retêm a água. No geral, sedimentos de granulometria fina, devido à maior área superficial por unidade de volume e poros menores, retêm mais água. A soma do rendimento específico com a retenção específica iguala a porosidade efectiva da amostra.
- Coeficiente de armazenamento – é o volume de água libertada por unidade de área horizontal do aquífero por unidade de declínio da altura hidráulica. Coeficientes de armazenamento de aquíferos não confinados são virtualmente iguais ao rendimento específico porque a maior parte da água é libertada por gravidade. Os valores para aquíferos não confinados geralmente variam entre 0,1 e 0,3. Em contraste, aquíferos confinados libertam água devido à compressão dos sólidos do aquífero e à expansão da água. Estes processos ocorrem em resposta à redução da pressão do fluido no aquífero e nestes não ocorre drenagem gravítica. Como os aquíferos libertam pequena quantidade de água por unidade de declínio da altura hidráulica, têm menores coeficientes de armazenamento, variando tipicamente entre  $10^{-5}$  e  $10^{-3}$ .

A altura hidráulica, condutividade hidráulica e porosidade efectiva, controlam o escoamento de água subterrânea que geralmente se faz na direcção do maior gradiente hidráulico. O gradiente hidráulico entre dois pontos num aquífero é a diferença da altura hidráulica dos dois pontos dividida pela distância entre pontos (Hudak, 1999).

Alguns exemplos aproximados da velocidade de circulação da água em diferentes tipos de terrenos (Pacheco et al., 1990):

- Areias e cascalhos com pequena presença de argila – 2 a 3 m/d;
- Seixos e areias, cascalhos (sem elementos finos) – 30 m/d;
- Areias grosseiras e pequenos cascalhos – 8 m/d;
- Areias grosseiras e finas – 3 a 4 m/d;
- Terraços fluviais (granulometria homogénea e argilas) – 5 a 7 m/d;
- Areias médias e finas – alguns cm/d;
- Areias finas de diâmetro inferior a 0,1 mm – 6 a 10 mm/d.

#### 10.4. Recursos Hídricos Subterrâneos em Portugal

Os recursos hídricos subterrâneos de Portugal, formados pela água de infiltração, dependem fundamentalmente das condições climáticas, geológicas e topográficas, e, para se poderem determinar com rigor, torna-se indispensável conhecer o valor e a distribuição da precipitação atmosférica ao longo do ano, a evapotranspiração e a escurência, ou seja, a água que, em cada momento da precipitação, se escapa à infiltração ([www.construirideias.pt](http://www.construirideias.pt)).

Embora cerca de dois terços do território nacional tenham fraca aptidão aquífera, os consumos domésticos, agrícolas e industriais dependem em cerca de 70% das águas subterrâneas. A esta significativa importância das águas subterrâneas também está associada grande diversidade de ambientes hidrogeológicos, em alguns casos com vulnerabilidade e risco de poluição elevados. Apesar de, no geral, a qualidade da água dos sistemas aquíferos nacionais ser satisfatória, são cada vez mais comuns as referências a casos de contaminação ou poluição, associados a fenómenos naturais, a factores antropogénicos e a combinações de ambos.

A distribuição dos recursos hídricos subterrâneos em Portugal Continental está relacionada com as formações geológicas que moldam o território. A correspondência entre a distribuição e características dos aquíferos e as unidades geológicas constituiu a base para o estabelecimento, pelo Instituto da Água (INAG), de quatro unidades hidrogeológicas, Figura 3, que correspondem às quatro grandes unidades morfo-estruturais em que o país se encontra dividido: Maciço Hespérico, Orlas Ocidental e Meridional e Bacia do Baixo-Tejo e Sado. O território insular é formado por ilhas de natureza vulcânica (<http://snirh.pt>).

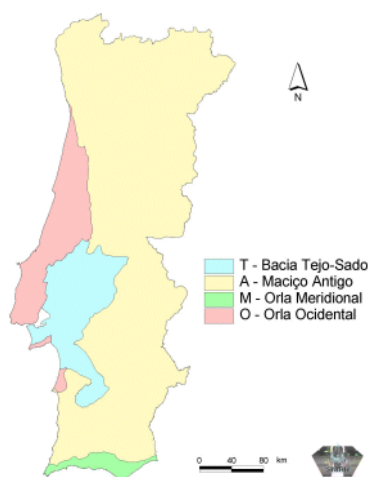


Figura 3: Unidades Hidrogeológicas de Portugal Continental Fonte: (<http://snirh.pt>)

##### 10.4.1. Maciço Hespérico (também designado por Antigo ou Ibérico)

O Maciço Hespérico é formado por rochas metamórficas (principalmente xistos e grauvaques) e magmáticas (granitóides) recobertas localmente por rochas predominantemente detríticas de idade terciária e quaternária. Neste estão delimitados e caracterizados 10 sistemas aquíferos, dos quais 9 se situam no Alentejo. A zona Norte do Maciço Hespérico tem relevo acentuado e clima atlântico, com pluviosidade acima da



média nacional, particularmente na região Noroeste de Portugal. A Sul do Tejo a morfologia é suave, o clima tem forte carácter mediterrânico e predominam as rochas metamórficas (Instituto da Água, 2002).

O Maciço Hespérico é caracterizado por aquíferos fissurados ou fracturados, instalados nas formações cristalinas, aquíferos aluvionares, em faixas estreitas ao longo dos rios que correm mais ou menos encaixados e em regime de fluxo elevado e, no Alentejo, pequenos aquíferos de calcários paleozóicos, de elevada importância a nível local e regional (Mendonça, 1998).

Em maciços com fracturas de paredes lisas e meio saturado, a velocidade do escoamento é directamente proporcional ao quadrado da sua abertura, isto é, tanto a velocidade como o caudal dos escoamentos e, em particular, a propagação da poluição são muito sensíveis a pequenas variações da abertura da fracturação e o efeito auto-depurador dos aquíferos é muito limitado.

Ensaio de bombagem e injeção de água em formações do Carbónico da Zona Sul Portuguesa, permitem concluir que a condutividade hidráulica dos xistos e grauvaques até profundidades da ordem da centena de metros é de uma ordem de grandeza superior aos valores determinados para maiores profundidades (entre  $3,5 \times 10^{-2}$  m/d e  $1,7 \times 10^{-1}$  m/d, no primeiro caso, e  $1,7 \times 10^{-3}$  m/d e  $2,6 \times 10^{-2}$  m/d nas formações mais profundas) e que no caso de furos com profundidades até 100 m a correlação linear entre o caudal específico e a transmissividade é muito boa.

As faixas aluvionares do Maciço Hespérico são, em regra, constituídas por materiais granulares de elevada condutividade hidráulica e espessura reduzida. Os aquíferos subordinados a cursos de água são explorados por captações que induzem a infiltração no leito dos cursos de água e, por isso, muito vulneráveis à carga poluente dos rios. O tempo de residência da água no aquífero é reduzido, a textura não favorece a auto-depuração e a poluição propaga-se rapidamente (Mendonça, 1998).

A ausência de estruturas de saneamento básico e a falta de ordenamento de território são os factores mais decisivos na degradação da qualidade da água subterrânea no Maciço Hespérico (Instituto da Água, 2002).

#### **10.4.2. Orla Mesocenozóica Ocidental e Orla Mesocenozóica Meridional**

As Orlas Ocidental e Meridional são constituídas por séries de sedimentos carbonatados, arenitos e argilitos.

Nas rochas carbonatadas, os aquíferos são do tipo carsificado, como os calcários do Jurássico que formam o Maciço Calcário Estremenho ou como os calcários e dolomitos do Lias e Dogger que suportam o sistema aquífero mais importante da Orla Meridional. Nestes sistemas aquíferos, as capacidades de armazenamento e transmissividade dependem do grau de desenvolvimento da carsificação (Mendonça, 1998).

Na Orla Ocidental encontram-se 30 sistemas aquíferos numa grande variedade de formações: unidades detríticas de idade terciária e quaternária, arenitos e calcários do Cretácico e calcários do Jurássico (Instituto da Água, 2002). Devido à tectónica salífera, formam-se estruturas diapíricas de que resultam depressões preenchidas com materiais detríticos que constituem aquíferos com significativa importância local e regional (Mendonça, 1998).

A Orla Meridional é constituída por formações plioquaternárias (areias e cascalheiras continentais, areias de duna, etc.), formações miocénicas, fundamentalmente de fácies marinha, formações detríticas e carbonatadas cretácicas e ainda formações

calcárias e dolomíticas do Jurássico. De um modo geral, as formações são muito produtivas e foram delimitados 17 sistemas aquíferos de características cársicas ou parcialmente cársicas.

As nascentes mais importantes destes sistemas aquíferos, por onde se dá em parte ou na totalidade a descarga natural, apresentam variações de caudal muito importantes (a relação entre os valores do caudal máximo e mínimo pode ser da ordem de várias dezenas), maiores nas descargas dos escoamentos locais e intermédios do que nos escoamentos longos e profundos que interessam a generalidade do sistema aquífero. Também a evolução dos níveis de água (grandes variações sazonais e interanuais) e dos caudais das nascentes denotam, regra geral, capacidade reguladora sazonal e interanual limitada. Na maioria das vezes, a vulnerabilidade é muito elevada e a propagação de poluição é rápida e alcança grandes distâncias.

Nas Orlas também existem importantes sistemas aquíferos multicamada, constituídos por alternâncias de arenitos e argilas, com níveis carbonatados como, por exemplo, os sistemas aquíferos cretácicos das regiões de Aveiro, Coimbra, Figueira da Foz e Lisboa. Muitas vezes estes aquíferos estão recobertos por formações terciárias e quaternárias (Instituto da Água, 2002).

#### **10.4.3. Bacia do Tejo e do Sado**

Os terrenos da Bacia do Tejo e do Sado servem de suporte a 5 sistemas aquíferos, de características porosas, contribuindo pela sua extensão, espessura e produtividade para a tornar na mais importante unidade hidrogeológica do país (Instituto da Água, 2002).

É aqui que se situa o mais extenso sistema aquífero da Península Ibérica – o sistema da Bacia do Tejo-Sado / Margem Esquerda. Este sistema aquífero é constituído por terrenos terciários parcialmente recobertos por formações mais recentes, alguns deles, como os aluviões e os terraços quaternários, individualizam aquíferos muito importantes. A estruturação da bacia terciária é sub-horizontal e composta principalmente por séries detríticas continentais, de idade paleogénica e neogénica, com intercalações de formações marinhas e salobras correspondentes aos máximos das transgressões miocénicas. Neste sistema aquífero terciário multicamada alternam as camadas aquíferas (fundamentalmente arenitos e calcários) com outras de permeabilidade baixa (aquicludos e aquitardos) como as argilosas e as margosas. A permeabilidade, regra geral, diminui em direcção aos limites da bacia (Mendonça, 1998).

Na Península da Mitrena, Setúbal, a um aquífero pliocénico, essencialmente arenoso, que contém água salgada, segue-se, em profundidade, um conjunto aquífero miocénico, multicamada, já pesquisado até cerca de 500 metros de profundidade. Este conjunto é subdividido em três unidades aquíferas: a arenítico-argilosa, a arenítico-calcária e a arenítico-margo-argilosa. A unidade arenítico-argilosa constitui o termo de transição entre o aquífero pliocénico (com água salgada) e o aquífero arenítico-calcário (onde se capta água de muito boa qualidade). A unidade arenítico-margo-argilosa apresenta produtividade e qualidade da água claramente inferiores ao do aquífero arenítico-calcário (a qualidade é mesmo imprópria para a maioria dos consumos). Os níveis piezométricos da unidade arenítico-calcária estão significativamente deprimidos e presume-se que o sentido do escoamento esteja invertido.

A qualidade físico-química da água do sistema aquífero do Tejo e do Sado é, regra geral, boa a muito boa, mas com variações laterais e em profundidade. Há domínios onde o

aumento da mineralização em profundidade atinge valores incompatíveis para o seu aproveitamento em usos doméstico, industrial e agrícola (Mendonça, 1998).

#### 10.4.4. Ilhas atlânticas

As ilhas atlânticas são constituídas por aparelhos vulcânicos complexos, onde predominam os basaltos.

O modelo de fluxo das ilhas dos Açores engloba uma zona muito espessa com escoamento não saturado, aquíferos suspensos e um aquífero basal lenticular de água doce limitado superiormente por uma superfície freática e inferiormente por uma interface com água salgada. Associados aos aquíferos suspensos, e sempre que ocorrem condições geomorfológicas favoráveis, aparecem nascentes. Estas captações são vulneráveis à poluição que, neste caso, é predominantemente de natureza orgânica e agro-química, resultante da intensa actividade agro-pecuária e, esporadicamente, de natureza térmica e química, associada à actividade vulcânica.

Os aquíferos de base, à semelhança do que acontece no restante edifício vulcânico, apresentam uma forte heterogeneidade e anisotropia. A superfície freática, nas zonas afastadas até 1 a 2 km do litoral, as únicas de que há informação, está cerca de 1 a 2 m acima do nível médio do mar e, regra geral, o gradiente hidráulico é baixo. Resulta daqui que a interface água doce/água salgada é pouco profunda e a espessura da camada de água potável é de alguns metros. É provável que na zona central das ilhas a superfície freática seja descontínua da zona litoral, com cotas bastante mais elevadas e geradoras de escoamentos mais profundos, localizados em fracturas ou outras descontinuidades, com emergência no fundo do oceano, a maiores profundidades que as do escoamento induzido pela superfície freática referenciada nas zonas próximas do litoral.

Os aquíferos de base são bastante menos vulneráveis à poluição de origem superficial mas, por terem espessura reduzida de água doce e permeabilidade elevada, são com frequência sujeitos a sobreexploração. Numa primeira fase resulta a formação de cone ou domo salino sob a captação que pode evoluir para a salinização permanente da captação. Há casos, por exemplo nas ilhas do Faial e Terceira, de contaminação local do aquífero basal por fluidos geotérmicos ou com temperatura da água muito acima do recomendado para consumo humano (Mendonça, 1998).

O comportamento hidrogeológico das formações vulcânicas da ilha da Madeira encontra-se em estreita ligação com a idade dos complexos onde estão inseridas e, consequentemente, com o tipo de litologia que nelas prevalece. Outro factor importante prende-se com a ocorrência de estruturas geotectónicas que sob a forma de fracturas ou de filões condicionam as diferentes unidades aquíferas, quer em dimensão e continuidade, quer nas condições de infiltração e permeabilidade.

A percolação das águas subterrâneas torna-se complexa quando os factores litológicos se encontram influenciadas por perturbações estruturais, ou ocorram alterações na sequência vulcânica. Os valores de permeabilidade e porosidade não permanecem constantes devido ao estado de alteração e compacidade das formações e à distribuição espacial de níveis de escórias, fendas de escórias, escoamentos magmáticos e variação granulométrica dos materiais piroclásticos.

Com base nestes conceitos foram estabelecidas quatro unidades hidrogeológicas, onde se encontram implantadas numerosas captações. Trata-se de áreas sensivelmente planas, com materiais vulcânicos de elevada permeabilidade, ocorrendo um sistema de fracturação importante muitas vezes associado à ocorrência de aparelhos vulcânicos. Outro

factor característico é a elevada pluviosidade e a presença de grande concentração de humidade atmosférica, o que contribui de forma decisiva para o aumento da percolação das águas subterrâneas e a acumulação de reservas (Raúl António, 1998).

Do exposto nos pontos anteriores, a informação apresentada pode ser resumida do modo seguinte:

- Dos 62 sistemas aquíferos de Portugal Continental, cerca de metade funcionam como aquíferos monocamada em regime livre ou confinado enquanto que os restantes são sistemas multicamada. As nascentes debitam, em geral, caudais apreciáveis, desempenhando um papel crucial no balanço hídrico do sistema hidrogeológico. Os sistemas aluvionares dependem dos cursos de água superficiais com os quais estão conectados tendo em conta o funcionamento hidráulico sazonal.
- Como os sistemas aquíferos são geologicamente dependentes, a heterogeneidade é a propriedade mais importante pois condiciona os fluxos locais com reflexos inevitáveis na circulação de poluentes nos meios aquíferos e na distribuição espacial dos valores de produtividade. De um modo geral, pode dizer-se que um aquífero é sobreexplorado quando os recursos hídricos subterrâneos são explorados de forma contínua acima dos recursos médios renováveis ou quando dessa exploração resultam consequências indesejáveis. A evolução negativa do nível piezométrico é o melhor indicador de sobreexploração.
- A irregularidade climática do país manifesta-se em situações de pluviosidade intensa que dão origem a problemas de cheias e inundações quando a capacidade de escoamento dos leitos dos cursos de água é insuficiente para drenar o volume de água afluente. A sucessão de episódios de precipitação que ocorre no Inverno provoca um aumento do teor de água no solo, a que se associa uma subida do nível freático, diminuição da capacidade de infiltração e aumento do volume armazenado em albufeiras, com redução da capacidade de regularização do escoamento.
- Em Portugal têm sido observadas alterações no ciclo anual de temperatura e precipitação mas estas tendências não podem ser consideradas como consequência da actividade antropogénica (alterações climáticas), podendo dever-se à variabilidade natural do clima da Península Ibérica. A estas variações estão associadas alterações no ciclo hidrológico que resultam das anomalias no ciclo anual de precipitação (distribuição mensal e intensidade) e anomalias térmicas condicionantes da evaporação e da humidade do solo, reflectindo-se no escoamento superficial e na recarga aquífera.
- Cada água tem uma qualidade natural que depende do meio aquífero onde se move e que a armazena e onde se desenrolam reacções químicas mais ou menos complexas. Em geral, a mineralização da água subterrânea é adquirida pelo contacto da água com a rocha ou no solo aquando do processo de infiltração. Os valores baixos ou altos de pH estão relacionados com os minerais reactivos no meio aquífero. Quando a evapotranspiração é elevada, a concentração de minerais ao nível do solo aumenta, fazendo com que as águas subterrâneas adquiram uma mineralização mais elevada do que noutras regiões para os mesmos contextos litológicos.

- As fácies hidroquímicas são zonas que contêm uma concentração de aniões e cationes principais, descritíveis dentro de grupos de composição definidos. Os descritores são o sódio, o potássio, o cloreto, o magnésio, o cálcio, o sulfato e o bicarbonato, cuja maior ou menor ocorrência no aquífero vai determinar o tipo de água subterrânea naquele meio. Entre os aquíferos nacionais, 44% possui fácies bicarbonatada cálcica, 16% bicarbonatada calco-magnésiana, 12% cloretada sódica, 7% bicarbonatada mista, 7% mista, 3% cloretada-bicarbonatada sódica, 1% cloretada cálcica e 10% dos aquíferos não têm dados suficientes (Instituto da Água, 2002).
- Apesar de se encontrarem melhor protegidas contra a contaminação do que as águas superficiais, e apesar do poder filtrante e características auto-depuradoras do meio, as águas subterrâneas poluídas podem gerar processos irreversíveis e a sua descontaminação é difícil. Para além da contaminação antropogénica, em Portugal ocorre também contaminação natural que decorre de processos orogénicos. A ausência de redes de monitorização do estado da poluição das águas subterrâneas, em número e qualidade suficiente, inviabiliza uma caracterização do impacto de uma determinada actividade.

### 10.5. Contaminação da água subterrânea

A água subterrânea é uma mistura de águas provenientes de diversas partes do ciclo hidrológico. A composição pode variar devido ao tempo de residência, extensão do percurso hidrológico, velocidade do escoamento, agitação, reacções químicas e biológicas e natureza dos materiais com os quais interage. A qualidade da água subterrânea é alterada ao longo do ciclo hidrológico, surgindo efeitos em cascata.

Os requisitos de potabilidade da água são a ausência de agentes biológicos patogénicos, substâncias tóxicas e quantidades excessivas de substâncias orgânicas e minerais. As impurezas mais frequentes são gases (óxidos de carbono, azoto, metano e anidrido sulfúrico), sais minerais (cálcio, magnésio, ferro, sódio e manganês) e agentes em suspensão (bactérias, algas e protozoários) (Hudak, 1999).

Os riscos directos para o homem da água insalubre estão relacionados com doenças de veiculação hídrica por patogénicos e por poluentes químicos e radioactivos. Os riscos indirectos da água insalubre são as alterações das características estéticas da água (cor, turvação, sabor, odor) e problemas com sistemas de abastecimento e tratamento de águas. Uma das principais causas para a escassez de água é a degradação da sua qualidade que pode reduzir consideravelmente a água doce disponível ([www.saudepublica.web.pt](http://www.saudepublica.web.pt)).

A qualidade natural da água subterrânea é afectada pela geologia, biologia e clima. Mesmo sob condições naturais, a água pode ser tóxica ou imprópria para consumo humano. A presença de elevadas quantidades de metais tóxicos é comum e pode ser atribuída ao intemperismo natural de jazidas minerais, não existindo uma referência universal de qualidade natural da água devido à grande variabilidade na qualidade química das águas naturais. É o caso da poluição associada à lixiviação de materiais de natureza evaporítica muito solúveis, em áreas diapíricas e que ocasionam águas com fácies fortemente cloretada ou sulfatada, de mineralização muito elevada, o que as torna impróprias para consumo humano.

Nos aquíferos carbonatados, o aumento da precipitação leva a um aumento da concentração de certos iões porque a onda de recarga expulsa, na direcção das zonas de descarga, as águas mais antigas armazenadas no aquífero. O teor de iões e microrganismos

aumenta, em consequência da recuperação dos níveis piezométricos durante a recarga, devido à mistura da água das zonas saturada e não saturada. A diminuição da capacidade de diluição, resultante dos baixos níveis piezométricos atingidos durante as épocas secas, leva ao aumento da concentração iónica das águas como consequência da redução dos caudais (Rodrigues, 2002).

As partículas do meio geológico, além de interagirem com a água, podem ser transportadas dependendo da sua massa, tamanho e forma, da velocidade do escoamento e do material através do qual percola. Organismos vivos, particularmente microrganismos, afectam a qualidade da água através de vários mecanismos, pois a biosfera usa e liberta nutrientes e outros elementos que são geralmente específicos a espécies de plantas particulares ou regiões geográficas, podendo também gerar produtos gasosos. Alterações biológicas incluem a gestão de florestas, a agricultura e a importação de espécies exóticas.

A temperatura é igualmente um factor importante dado que afecta as características físicas (por exemplo, transferência gasosa), mudanças de estado (gás, líquido e sólido) e taxas de reacção química e biológica da água (Peters e Meybeck *et al.*, 2000).

Desastres naturais, como furacões, inundações, tsunamis, terremotos, erupções vulcânicas e deslizamento de terras, também têm grandes efeitos na qualidade e quantidade de água, variando o efeito e a duração da perturbação com a dimensão do desastre.

As actividades antropogénicas afectam directamente o ciclo hidrológico pois alteram os usos do solo, modificando as suas características físicas, químicas e biológicas. Alterações físicas, tal como urbanização, transportes, agricultura (irrigação), desflorestação e florestação, drenagem artificial, canalização e retenção (represas, barragens, etc.) alteram o ciclo hidrológico e podem alterar as características de qualidade da água através da modificação dos materiais com os quais a água interage. A impermeabilização do solo, por exemplo, diminui a infiltração eficaz e pode modificar o carácter do fluxo subterrâneo (Peters e Meybeck, 2000).

As principais actividades antropogénicas susceptíveis de alterar a qualidade da água, são as seguintes (Zoby e Oliveira, 2005):

- A forma de construção de um poço é fundamental para garantir a qualidade da água captada e maximizar a eficiência da operação e a exploração do aquífero. Localização inadequada, ausência de protecção da zona circundante, de lajes de protecção e de revestimento interno e filtro inadequado à formação geológica, colocam em risco a qualidade das águas subterrâneas. Os poços abandonados devem ser devidamente lacrados a fim de não se tornarem fontes de contaminação para o aquífero.
- A ausência ou deficiente manutenção das redes de saneamento representam riscos para as águas subterrâneas através da infiltração das águas residuais no solo. A contaminação de águas subterrâneas por águas residuais pode ser detectada através de elevadas concentrações de nitrato e presença de bactérias patogénicas e vírus.
- Em aterros sanitários, a decomposição anaeróbia da matéria orgânica produz efluentes líquidos, formados por compostos orgânicos e inorgânicos, apresentando elevadas concentrações de matéria orgânica e metais pesados, cuja infiltração pode contaminar solos e águas subterrâneas. Os aterros sanitários exigem a impermeabilização do terreno, sistema de drenagem, cobertura do material depositado, tratamento de lixiviados e captação dos gases produzidos pela decomposição dos resíduos.

- A necessidade de aumento da produtividade agrícola aumenta a utilização de fertilizantes e agrotóxicos. Os três principais nutrientes exigidos pelas culturas são o azoto (N), o fósforo (P) e o potássio (K) e o uso intensivo destes elementos favorece o seu aparecimento nas águas subterrâneas. O azoto (ocorrendo principalmente sob a forma de nitrato) é o que apresenta maior impacte devido à elevada mobilidade na água causada pela difícil adsorção. A qualidade da água de irrigação também pode afectar a agricultura através da salinização dos solos, em consequência da interacção electroquímica entre os sais e a argila, reduzindo a permeabilidade do solo e afectando a disponibilidade de água para a planta. Certos elementos como cloreto, sódio, boro, nitrato, podem-se tornar tóxicos para as plantas ou causar desequilíbrios nutricionais quando presentes em altas concentrações.
- A utilização de produtos tóxicos na indústria e a ocorrência de acidentes ou fugas nos processos produtivos, transporte e armazenamento de produtos perigosos, representam sérios riscos para o ambiente e saúde pública.
- Os hidrocarbonetos que constituem o petróleo são amplamente utilizados na indústria e no transporte. A produção, uso e transporte de combustíveis envolvem o uso de tanques que são susceptíveis a acidentes e fugas. A principal forma de contaminação do subsolo é devido a fugas nos tanques de armazenamento de combustíveis associadas a problemas de instalação e corrosão devido à sua construção em aço e vida útil de 10 a 30 anos.
- A infiltração da água da chuva sobre os resíduos da exploração mineira alcança os corpos hídricos superficiais e/ou subterrâneos. Essas águas adquirem baixo pH (inferior a 3), elevados valores de ferro, sulfato e outros elementos que alteram o uso do solo e destroem flora e fauna aquática.
- A contaminação de água subterrânea por UC e hospitais está relacionada com a alteração da qualidade química e com a presença de microrganismos.
- Outro percurso hidrológico dos contaminantes é o transporte atmosférico e deposição das partículas directamente na água superficial ou indirectamente na água subterrânea pela infiltração no solo.

Os efeitos de resíduos tóxicos na saúde pública e no ambiente não são bem conhecidos apesar dos esforços de análise da distribuição geográfica de doenças e toxicologia ambiental. O número de novas substâncias químicas que são libertadas no ambiente excede em grande escala as que são actualmente monitorizadas ou investigadas para determinar o seu destino, transformação, transporte e efeitos na saúde pública e no ambiente.

Constrangimentos espaciais e temporais, naturais e antropogénicos, influenciam a evolução da qualidade da água, e as escalas espacial e temporal estão ligadas de tal modo que percursos hidrológicos curtos podem distribuir substâncias pela superfície mais rápido do que os longos.

Quando a taxa de recarga de um aquífero é elevada, as descargas naturais também são mais elevadas, pelo que o tempo de residência da água é menor. Por outro lado, uma taxa de recarga elevada produz um efeito de diluição maior na concentração dos lixiviados. As formações geológicas de maior condutividade hidráulica possuem menor capacidade de atenuação dos contaminantes. A natureza da substância, incluindo a sua afinidade para aderir ao solo e a sua habilidade de ser transformada, afectam a mobilidade e a escala temporal de remoção da substância. Assim, o tempo de residência da água é menor do que

o de uma substância específica, devido à interacção desta com os materiais da bacia e aos efeitos de mistura imperfeita ao longo do percurso hidrológico.

Em bacias hidrográficas pequenas (cerca de  $10 \text{ km}^2$ ) podem decorrer várias décadas antes que uma substância aplicada no solo seja transportada para a água superficial ou para alguns aquíferos superficiais e a escala temporal de remoção pode ser de várias centenas de anos em bacias hidrográficas bastante grandes ( $100\,000 \text{ km}^2$ ) e em aquíferos confinados. Consequentemente, o tempo de limpeza ou a duração da remoção de substâncias retidas no solo é geralmente da ordem de gerações humanas. Apesar de haver fundamentos científicos para estas estimativas, as escalas são pouco exactas e pretendem apenas dar uma noção da importância relativa do tempo e do espaço na resolução de problemas relacionados com a qualidade da água subterrânea (Peters e Meybeck, 2000).

Os principais factores que determinam a vulnerabilidade de um aquífero são (Environment Agency, 2004):

- Tipo e natureza do solo, incluindo estrutura, potencial de lixiviação e vulnerabilidade do solo, com base nas propriedades físicas que afectam o fluxo vertical de água e a capacidade de depuração do solo;
- Presença e natureza de corrente de água, incluindo tipo e espessura;
- Profundidade do nível freático dado que a zona não saturada pode atenuar a contaminação por processos físicos, biológicos e químicos;
- Mecanismo de fluxo da água subterrânea (intergranular ou fissuras),
- Vulnerabilidade da água subterrânea e tipo de aquífero;
- Extracção de água;
- Zonas de protecção de águas subterrâneas;
- Proximidade de cursos de água, nascentes ou drenagens.

Os requisitos humanos para a sustentabilidade, características culturais da população, situação socioeconómica e as características biofísicas e climáticas da área determinam o nível de interacção e, consequentemente, a taxa de degradação do solo e das águas. Os efeitos das actividades antropogénicas em pequena escala são relevantes para toda a bacia hidrográfica. As diferenças regionais, locais e globais no escoamento de águas são consideráveis e causam diferentes efeitos nas actividades antropogénicas no solo e na qualidade e quantidade de água, dependendo da sua localização na bacia hidrográfica, das características biológicas, geológicas e fisiográficas da bacia hidrográfica e do clima local. Estas características naturais também controlam as actividades antropogénicas que irão, ou não, modificar ou alterar a composição natural da água.

Uma combinação de sensibilização, políticas, conhecimentos científicos, planeamento e aplicação de leis integradas, pode fornecer os mecanismos necessários para diminuir a taxa de degradação e proteger a saúde pública e o ambiente. É necessária uma abordagem integrada para gerir efectivamente os solos e recursos hídricos (Peters e Meybeck, 2000).

Nas últimas duas décadas têm sido desenvolvidas diversas ferramentas com o objectivo de prevenir a contaminação das águas subterrâneas e promover o seu desenvolvimento sustentado e integrado, mas a previsão do grau de contaminação face a uma determinada actividade é difícil, devido à dependência de diversos factores tais como características hidrogeológicas do meio, tipo de solo existente e actividade a desenvolver nessa área.

Em aquíferos cársticos, os contaminantes praticamente não são sujeitos a processos naturais de tratamento porque a área disponível para a colonização dos microrganismos



naturais e para a adsorção e troca iónica é pouco extensa. A infiltração rápida reduz a oportunidade de evaporação, mecanismo importante na eliminação de compostos orgânicos voláteis. A filtração física é pouco efectiva nos solos tipicamente pouco profundos e através das rochas com canais secundários, pelo que os sedimentos e os microrganismos são rapidamente transportados, os mecanismos de eliminação de bactérias e vírus são menos efectivos, devido ao fluxo rápido das condutas internas, reduzindo o retardamento por processos de adsorção. Dado que o tempo de sobrevivência de algumas espécies bacterianas pode ultrapassar os 100 dias, e o tempo de passagem da água pelas condutas é frequentemente inferior, a probabilidade de circular água contaminada microbiologicamente através dos aquíferos cársicos é elevada. Assim, nos aquíferos cársicos, a capacidade de depuração dos contaminantes depende, em grande parte, da cobertura de solo existente (Rodrigues, 2002).

### **10.6. Importância da protecção das águas subterrâneas**

Em consequência do desenvolvimento socioeconómico, da alteração da ocupação urbana e da necessidade de regular o uso de águas transfronteiriças, a gestão das águas tem de dar resposta a situações cada vez mais complexas e conflituosas, sendo necessária a completa revisão e coordenação das políticas e práticas de acesso aos recursos, assim como um aumento da eficiência de utilização de matérias-primas e energia, condições indispensáveis para a possibilidade técnica e económica de desenvolvimento sustentável a nível global. Deste modo, a abordagem da problemática dos recursos hídricos tende a extravasar progressivamente a escala nacional e continental e a situar-se como questão de dimensão global.

O uso racional e a protecção dos recursos hídricos já estão entre os problemas técnicos de maior actualidade, mais complexos e de resolução mais urgente. Tanto as questões da quantidade como as da qualidade da água tomam cada vez maior relevância e a escassez e o aumento da poluição deste recurso são factores progressivamente mais limitativos no desenvolvimento social e económico (Mendonça, 1998).

Em 2000, a Directiva Quadro da Água (DQA) reflectiu, pela primeira vez, uma política de gestão da água focada na protecção e melhoria do estado das águas atendendo a que nenhum uso possa colocar em causa o bom funcionamento dos diversos ecossistemas, abrangendo as águas superficiais, subterrâneas, costeiras e de transição.

A água subterrânea constitui uma importante origem de água, efectiva ou potencial, a nível regional e local, que importa preservar. Os recursos hídricos subterrâneos sempre desempenharam um importante papel tanto no abastecimento das populações como na origem de água para a agricultura e a indústria. Mesmo em zonas onde são escassos, podem ser fundamentais, na ausência de outros recursos hídricos economicamente mobilizáveis (<http://snirh.pt>).

A definição da vulnerabilidade natural de um aquífero pressupõe o seu estudo hidrogeológico para conhecer as características mais importantes como extensão, área de recarga, espessura, profundidade do nível freático, qualidade da água e parâmetros como a condutividade hidráulica. A partir destas informações é possível avaliar a vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação.

O controle do uso e ocupação do solo é uma das estratégias de protecção da água subterrânea identificando áreas mais susceptíveis de forma a promover um controle regional do uso do solo, e também proteger as captações de águas subterrâneas (Zoby e Oliveira, 2005).

Os Perímetros de Protecção, Figura 4, regulamentados pelo DL n.º 382/99, de 22 de Setembro, são um instrumento preventivo para assegurar a protecção das captações de água subterrânea destinadas ao abastecimento público, visando a prevenção, redução e controlo da contaminação das águas subterrâneas na vizinhança das captações. Consistem na definição de áreas na vizinhança das captações, em que se estabelecem restrições de utilização e transformação do solo, em função das características dos sistemas aquíferos e dos caudais extraídos, como forma de salvaguardar a protecção da qualidade das águas subterrâneas. Este DL define três zonas de protecção:

- Zona de Protecção Imediata – área da superfície contígua à captação que se destina à protecção directa da mesma.
- Zona de Protecção Intermédia – área da superfície do solo, contígua à Zona de Protecção Imediata, de extensão variável, tendo em conta as condições geológicas e estruturais do sistema aquífero, definida de forma a eliminar ou reduzir a poluição da água subterrânea.
- Zona de Protecção Alargada – área da superfície do solo, contígua à Zona de Protecção Intermédia, destinada a proteger a água subterrânea de poluentes persistentes.

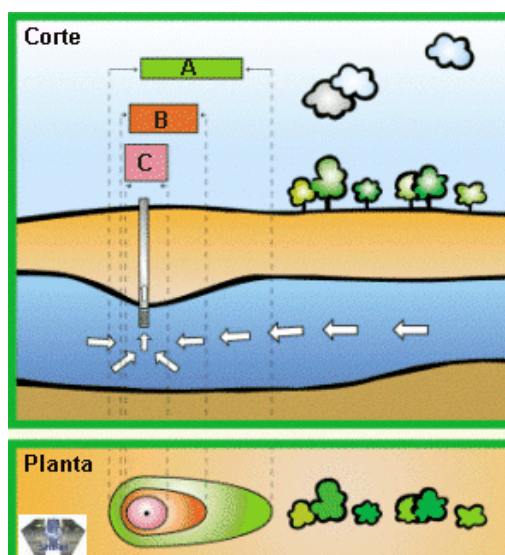


Figura 4: Perímetros de Protecção. Legenda: A – Zona de Protecção Alargada; B – Zona de Protecção Intermédia; C – Zona de Protecção Imediata. Fonte: (<http://snirh.inag.pt>)

Existem ainda Zonas de Protecção Especial em áreas que apresentam conexão hidráulica, directa ou através de condutas ou fissuras, com a captação. Nas zonas costeiras, onde existam condições para a ocorrência da intrusão marinha, devem definir-se Zonas de Protecção Especiais.

Os perímetros de protecção pretendem (<http://snirh.pt/>):

- Prevenir, reduzir e controlar a poluição da água subterrânea por infiltração de águas pluviais lixiviantes e de águas excedentes de rega e de lavagens;
- Potenciar os processos naturais de diluição e de auto-depuração da água subterrânea;
- Controlar o efeito das descargas acidentais de poluentes;

- Proporcionar a criação de sistemas de aviso e alerta para a protecção dos sistemas de abastecimento de água com origem nas captações de água subterrânea, em situações de contaminação accidental dessa água.

Uma vez que os fluxos de água subterrânea são muito lentos, as consequências da sobreexploração podem ser visíveis apenas daqui a alguns anos ou décadas, pelo que as estratégias devem incluir uma monitorização bem planeada da extracção da água subterrânea e da sua qualidade ([www.saudepublica.web.pt](http://www.saudepublica.web.pt)).

Devido à dimensão ecológica das águas subterrâneas, é crucial que integrem as políticas de planeamento e gestão de recursos hídricos, quer através do reconhecimento dos ecossistemas dependentes das águas subterrâneas como locais particularmente vulneráveis a actividades antropogénicas, quer no papel que as funções ecológicas das águas subterrâneas terão no desenvolvimento sustentável das várias actividades socioeconómicas ([www.construirideias.pt](http://www.construirideias.pt)).

Em Portugal, encontra-se actualmente em fase de reformulação, o inventário nacional de locais contaminados, com indicação das potenciais fontes de contaminação e contaminantes. No entanto, continua a não existir legislação nacional relativa à descontaminação de solos e águas subterrâneas, nomeadamente no que diz respeito às metodologias de estudo a aplicar e à definição de valores de fundo.

Os problemas ambientais decorrem em grande parte das inconsistências do processo decisório que orienta a utilização dos recursos ambientais, particularmente no que se refere à articulação e coordenação das acções e à participação da sociedade. Atenção prioritária deve ser dada ao desenvolvimento de métodos adequados para regular o uso, controle, protecção e conservação das águas subterrâneas sem esquecer a necessidade de esforços em investigação direccionada para o conhecimento da dinâmica ambiental e desenvolvimento de tecnologias ambientalmente adequadas. O desenvolvimento sustentável, os conflitos de uso e consequente escassez, os problemas de desequilíbrio entre oferta e procura de água, o desenvolvimento socioeconómico e melhoria da qualidade de vida são os principais objectivos da gestão dos recursos hídricos apoiada na perspectiva de utilização múltipla e integrada.

Definir programas de protecção da água subterrânea é permitir o seu uso racional e sustentável em termos qualitativos e quantitativos. A gestão dos recursos hídricos subterrâneos deve estabelecer o volume total explorável de um aquífero de modo a garantir a sua manutenção e deve ter em conta o controle da perfuração de novas captações, o regime de extracção em zonas críticas (baseada na recarga), a monitorização da quantidade da água subterrânea para detectar alterações no nível freático e identificar problemas de sobreexploração. Deste modo, a monitorização da qualidade da água, campanhas de informação e sensibilização para mobilizar a população e campanhas de envolvimento e participação da sociedade civil são necessárias e desempenham um papel importante na gestão dos recursos hídricos (Zoby e Oliveira, 2005).

## 11. Impacte ambiental de unidades cemiteriais

A conotação cultural e religiosa das UC e a ausência de dados de monitorização em quantidade e diversidade suficientes, tornam difícil a imposição de restrições (Barbosa e Coelho, 2002). Globalmente, a informação disponível é muito limitada, existindo estudos realizados na Austrália, Brasil, Alemanha, Holanda e América do Norte mas, devido às diferenças geológicas, climáticas e culturais, é difícil extrapolar estes estudos para outras regiões geográficas (Young et al., 1999).

Um impacte ambiental ocorre com alteração física, química ou biológica do meio. Para a identificação e estimativa dos impactes, é necessário ter percepção se os impactes são directos ou indirectos, primários ou secundários, a curto ou longo prazo, cumulativos ou de curta duração, reversíveis ou irreversíveis (Centirión, 1994).

Os impactes físicos primários das UC estão relacionados com a contaminação dos solos e das águas superficiais e subterrâneas. A possibilidade de contaminação de águas superficiais é remota quando as mesmas são dinâmicas e oxigenadas, mas existe quando são paradas e não arejadas (Rodrigues, 2002).

A matéria orgânica inumada contém microrganismos de diversas espécies e os materiais utilizados nas práticas funerárias são potenciais fontes de compostos químicos e metais pesados. Podem ainda estar presentes resíduos nucleares provenientes de aplicações recebidas em vida, dispositivos médicos e próteses. O solo que recebe tudo isto pode atingir o seu limite depurativo e os contaminantes podem atingir a água subterrânea.

As águas pluviais e as águas de lavagem da área da UC aumentam o risco de contaminação devido ao contacto com microrganismos. Estas águas podem-se infiltrar no solo ou ser lançadas na rede pluvial urbana, sem qualquer tipo de pré-tratamento (Serra, 2000). A utilização de desinfectantes e detergentes na limpeza das áreas internas da UC deve ser eliminada. Quando necessário recorrer a estes produtos, deve-se optar pelos biodegradáveis que não interfiram com a microfauna.

A poluição do solo não se deve somente às alterações que ocorrem na água mas também às alterações que ocorrem nos grãos ou nos gases na zona não saturada. A percolação do miasma pode alterar a fauna microbiológica e a estrutura do solo (Rocha et al., 2005).

Os impactes físicos secundários ocorrem quando há libertação de odores, ou seja, ocorre nas sepulturas quando a cobertura de solo é permeável aos gases e em jazigos quando há deterioração das urnas depositadas. Nos nichos de decomposição aeróbia também há emanção de odores quando a manutenção dos filtros não é adequada. Os gases constituem emissões de pequena magnitude e para evitar os maus odores, resultantes do gás sulfídrico e dos mercaptanos, deve ter-se em conta a direcção dos ventos e a presença de vegetação, não só para adornar mas também para purificar o ar.

Outro impacte secundário é relativo à fauna que pode invadir e violar as sepulturas para se alimentar ou abrigar, sendo potenciais vectores de doenças.

Há ainda impactes estético-urbanísticos e psicológicos associados às UC tradicionais localizadas nos centros das cidades com túmulos a céu aberto, por vezes negligenciados, resíduos de construção abandonados na zona das sepulturas, deposição de resíduos advindos dos visitantes, ausência de zonas verdes e aspecto acinzentado (Campos, 2007).

Nas UC podem ser criadas secções com prescrições especiais, em que, por exemplo, se limita a altura de lápides funerárias. Com isto pretende-se evitar formas que estão contra as concepções de que a UC não deve ser só a simples sobreposição de campas

mas uma instituição com um carácter de conjunto. Tanto em secções com prescrições formais como em secções sem prescrições formais, devem ser disponibilizadas listas de plantas autóctones adequadas para decorar as campas, evitando espécies invasoras ou que possam perturbar o meio (Conselho Alemão de Municípios, 1968).

A Agência do Ambiente do Reino Unido desenvolveu um Guia de Orientação que pretende identificar e descrever os factores a ter em consideração quando se estuda o potencial impacte de uma UC no ambiente, com base numa revisão de casos publicados e práticas aplicadas em diversas regiões (Young et al., 1999).

## 12. Condições ideais para a decomposição

Para controlar o risco para o ambiente, e em particular para as águas subterrâneas, é necessário que a instalação de UC obedeça a um projecto técnico que atenda a condições geológicas, geotécnicas e hidrológicas da área escolhida para o empreendimento e da sua envolvente (Pacheco, 2006), de modo a que o processo de decomposição dos cadáveres deve ser facilitado de modo que ocorra naturalmente sem oferecer riscos de contaminação (Haddad e Chiacchio, 2005).

Como já foi referido, a decomposição depende de factores extrínsecos que estão relacionados com o ambiente que rodeia o cadáver, como temperatura, humidade, arejamento, presença de insectos, larvas e microrganismos e tipo de solo.

Nos pontos seguintes encontram-se algumas considerações acerca destes factores, adaptadas de (Dent e Knight, 2007), (Dent et al., 2004), (Matos, 2001), (Campos, 2007), (www.onearth.com.au), (Üçisik e Rushbrook, 1998), (Jornal de Notícias, 2009), (Young et al., 1999), (Pacheco, 2006), (Haddad e Chiacchio, 2005) e (Conselho Alemão de Municípios, 1968).

### 12.1. Temperatura

A temperatura deve ser considerada de forma global, ou seja, temperatura atmosférica e dos solos. Geralmente os cadáveres inumados no Verão apresentam uma velocidade de decomposição superior aos inumados no Inverno pois as temperaturas mais favoráveis para a transformação e actividade microbiológica estão entre 25 e 35 °C. Temperaturas elevadas influenciam a evaporação da água contida no cadáver e nos processos de fermentação. Temperaturas baixas reduzem ou inibem a actuação de insectos e microrganismos. Havendo menos insectos a digerir o cadáver, maior será a percentagem de proteínas e hidratos de carbono transformados pela acção bacteriana em ácidos gordos voláteis, aumentando a quantidade destes compostos em solução no solo. A profundidade de inumação dos cadáveres, para além de restringir ou eliminar o acesso à maioria das espécies de insectos decompositores, expõe o cadáver a pequenas variações de temperatura, o que contribui para alterar o processo de decomposição. Em sepulturas pouco profundas, são experimentadas grandes amplitudes térmicas, afectando a extensão da decomposição.

### 12.2. Humidade e Nível Freático

A acção microbiana varia com a humidade do solo, devendo ser investigados os teores de humidade que mais beneficiam a retenção dos microrganismos. Quando a humidade é reduzida, a acção microbiana é impedida, favorecendo a mumificação, em oposição à situação de humidade em excesso em que pode ocorrer a saponificação. O excesso de humidade pode ainda gerar problemas de erosão, inundar as sepulturas e prejudicar a decomposição.

Entre o cadáver e o solo que se encontra abaixo deste, acumulam-se secreções mucosas que vão intensificar a ligação do cadáver ao solo e proteger esta região da precipitação, diminuindo o factor de diluição da chuva. Um solo bem drenado acelera a decomposição, enquanto um solo com drenagem insuficiente tem o efeito contrário.

A perturbação do solo de 2 a 3 m em profundidade que acompanha a inumação, pode permitir a acumulação de água e de ar ao nível da sepultura. Se o local proposto é

inclinado e as inumações começam numa posição não inclinada, a água contaminada de inumações prévias pode invadir as novas sepulturas. Assim, deve ser conhecida a posição do nível freático e o sentido e velocidade do fluxo da água subterrânea para que a instalação de UC não deteriore as suas condições de potabilidade.

Por outro lado, deve ser conhecida a posição do nível freático, o sentido e velocidade do fluxo da água subterrânea e a existência de afloramentos para que se cumpra uma distância mínima aos cursos de água naturais (ribeiros, rios, lagos, lagoas) e artificiais de uso comunitário (albufeiras, represas, barragens), para que a instalação da UC não deteriore as características de potabilidade natural dessas águas.

Em épocas de elevada precipitação, o nível freático sobe, aumentando o risco de inundação das sepulturas e o arraste de contaminantes pela água de infiltração. A drenagem superficial e subterrânea deve interceptar a maioria da água de infiltração antes que a contaminação atinja a zona saturada. Deve haver drenagem artificial, quando a drenagem natural não for suficiente e as águas drenadas devem ser tratadas antes de lançadas para cursos de água superficiais ou para a rede pública de efluentes.

De igual modo, é necessária uma distância segura entre o fundo das sepulturas e o nível máximo da zona saturada para atenuar a contaminação. Os perímetros de protecção devem ser determinados de acordo com as características de cada local. Caso não seja possível manter uma distância segura, pode ser implementada drenagem subterrânea, rebaixamento do nível freático ou aterros para tornar o fundo das sepulturas mais alto.

Assim, a UC deve estar na contravertente das fontes de água para abastecimento público e não se deve situar em áreas mais baixas do que a envolvente, pois a água de escorrência vai-se infiltrar no sentido da UC, aumentando a lixiviação de miasma e a potencial subida do nível freático.

### **12.3. Zona não saturada**

A zona não saturada do solo representa a primeira linha de defesa natural para atenuar ou eliminar o efeito nocivo dos contaminantes em virtude das suas propriedades físicas, químicas e microbiológicas. Esta camada deve ter baixa porosidade e textura fina para maximizar a retenção de contaminantes, geralmente apresentando condições aeróbias e alcalinas.

As inumações devem ser feitas na camada activa do solo para que os nutrientes e matéria orgânica do cadáver sejam neutralizados. A maximização do tempo de residência e da espessura dessa camada são factores desejáveis para a remoção e eliminação da carga patogénica. Devem ser evitados locais onde a camada não saturada é pouco espessa, especialmente quando as condições climáticas levam a processos de decomposição rápidos e/ou ao contacto da água freática com as sepulturas.

A profundidade de inumação tem que atender à libertação de odores, acesso de animais que podem disseminar doenças, saúde pública e circunscrição dos produtos em decomposição. A legislação em vigor (Decreto 44.220, de 3 de Março de 1962) determina que as inumações no solo se façam a uma profundidade mínima de 1,15 m para adultos e 1 m para crianças. Os terrenos devem permitir através da sua textura a decomposição completa do cadáver de forma a não comprometer o ambiente e a garantir o bom estado sanitário da área interna e envolvente à UC.

O tamanho das bactérias, a distribuição de poros no solo e a interacção entre as bactérias e a fase sólida devem ser tidos em conta na escolha do solo. A distribuição de

poros no solo é um factor importante no aumento da área superficial para adsorção e remoção de bactérias.

Os solos devem ser homogéneos com percentagens equilibradas de areia, silte e argila (média de 30% de cada), pois combinam a facilidade de decomposição com a dificuldade de libertação de elementos gasosos. Concentrações até 30% de peso de argila tendem a evitar a saponificação e garantir a condutividade hidráulica, condição necessária à capacidade de atenuar e reter a migração de microrganismos, pois evita condições anaeróbias. O tipo de solo mais proveitoso para maximizar a retenção dos produtos da degradação é uma mistura de argila e areia de baixa porosidade e grãos de textura fina.

Os solos argilosos caracterizam-se por ter teores de argila maiores ou iguais a 35% e apresentam baixa permeabilidade e elevada capacidade de retenção da água. São solos de profundidade variável, desde forte a imperfeitamente drenados, o que favorece a compactação. Os solos de cerrado são uma excepção pois a fracção de argila é representada por óxidos hidratados de ferro e alumínio, com elevado poder de floculação. Grandes concentrações de argila causam excesso de humidade, dificultam a decomposição e favorecem a saponificação.

Nos solos arenosos, os teores em areia são maiores que 70% e os teores de argila inferiores a 15%. São solos permeáveis, de baixa capacidade de retenção de água e baixos teores de matéria orgânica. Quando a estrutura do solo é compacta, o arejamento é dificultado, prolongando a decomposição e, em períodos chuvosos, ocorre a saturação dos solos. Se o nível freático for pouco profundo pode favorecer a contaminação da água. Estes solos, no entanto, impedem que os maus odores atinjam a superfície devido à dificuldade de arejamento. Grandes concentrações de areia favorecem a rápida drenagem, a mumificação e os processos de fossilização. Solos constituídos por areia e cascalho têm elevada presença de oxigénio.

Assim, segundo o Decreto 44.220, de 3 de Março, os solos devem ser de natureza calcário-argilosa, calcário-siliciosa, silico-argilosa e silico-calcária, devendo rejeitar-se os de natureza humurosa, calcária ou fortemente argilosa, salvo se forem corrigidos com areia, produtos calcários ou outros aconselháveis.

Subsolos de granulometria grosseira ou muito fracturados, materiais aquíferos fissurados ou com mineralogia restrita, oferecem poucas oportunidades de atenuação. Uma excepção é a oxidação pois o rápido escoamento e facilidade de entrada de gases no sistema pode manter um elevado teor em oxigénio.

No geral, materiais de mineralogia variada fornecem maiores oportunidades para retenção e retardamento das partículas por adsorção, do que formações compostas principalmente por sílica (por exemplo, areia limpa ou arenito) ou carbonatos de cálcio.

Os aquíferos superficiais, protegidos apenas por uma pequena camada não saturada e compostos por materiais de grão grosseiro ou altamente fissurados, são mais vulneráveis à contaminação do que aquíferos compostos por materiais de grão fino e não fissurado, com significativa profundidade da camada não saturada.

Subsolos compostos por sedimentos ou rochas de mineralogia variada e nos quais o escoamento da água subterrânea é intergranular, são mais efectivos na protecção da água subterrânea contra a poluição proveniente da superfície. A protecção deve-se ao escoamento mais lento da água através das zonas não saturada e saturada e às maiores oportunidades para ocorrência de reacções químicas, bioquímicas e físicas entre a água e a matriz ao longo do percurso.

No caso de contaminantes orgânicos, a degradação microbiológica pode ser efectiva em aquíferos cujos materiais têm capacidade significativa para neutralizar



soluções ácidas. Em formações com baixa capacidade de neutralização, a degradação e oxidação são menos efectivas. A presença de minerais de argila e outros meios de permuta revelaram-se benéficos para retardar o movimento de compostos azotados.

#### **12.4. Topografia**

A importância de localizar uma UC em área elevada reside em assegurar que as sepulturas não são inundadas e que os microrganismos sejam retidos na camada não saturada do solo, com condições de arejamento favorecidas pelo regime de ventos. Deve ser evitado relevo íngreme e solos muito permeáveis com nível freático pouco profundo.

A instalação em áreas planas representa risco de contaminação das águas subterrâneas e de saponificação dos cadáveres. No caso de a área não ser favorável e na indisponibilidade de outra adequada, os sepultamentos podem ser feitos acima do nível natural do terreno, ou seja, em jazigos com drenagem e tratamento de gases e líquidos provenientes da decomposição dos cadáveres. Quando a área tem declive acentuado é recomendável recorrer a movimentos de terra, para cortes e desenvolvimento de terraços, para evitar problemas em épocas de chuva, devido à erosão, que pode arrastar material e expor sepulturas. Os muros dos terraços devem ser protegidos contra a erosão. Sugere-se que o declive seja entre 5 e 10%, para minimizar os riscos de contaminação da água subterrânea, a saponificação dos cadáveres e a erosão pluvial.

#### **12.5. Qualidade dos solos para inumação**

O arejamento dos cadáveres propicia a acção dos microrganismos aeróbios e acelera a decomposição. A decomposição será mais rápida em inumações no solo do que em jazigos, onde os cadáveres ficam substancialmente isolados do ar atmosférico. Entre a urna e a superfície do solo existe uma camada menos compacta que permite a entrada de ar, favorecendo a decomposição aeróbia. Por outro lado, também facilita a entrada de água pluvial, aumentando a lixiviação de contaminantes.

O arejamento adequado do solo depende da existência de poros grosseiros com mais de 10  $\mu\text{m}$  (em solos com nível freático profundo) ou com mais de 50  $\mu\text{m}$  (em solos com águas estagnadas ou com nível freático superficial) que, no estado de capacidade de campo, isto é, depois de a água de infiltração ter percolado, estão cheios de ar. A parte quantitativa destes poros grosseiros no volume total de poros, também chamada capacidade de ar, é muito variável e depende da estrutura do solo. Uma estrutura compacta, com partículas soltas em solos de areia ou a ausência de estrutura em solos de textura fina com aspecto maciço, causam uma elevada densidade de estratificação e oferecem muito pouco espaço para poros grandes, condutores de ar. Pelo contrário, os grãos soltos em areias ou agregados finos e abertos em solos pesados causam uma densidade baixa e oferecem muito espaço para poros grandes, condutores de ar. O tipo de solo é determinante para a quantidade de poros grandes pois, com uma densidade igual, as areias têm mais poros grandes do que as argilas.

M. Renger da Repartição de Investigação de Solos, secção de Pedologia de Niedersachsen, Alemanha, elaborou os diagramas representados nas Figuras 5 e 6 que indicam a repartição de água, ar e matéria sólida (ordenada) em relação ao tipo de solo (abcissa), quando o teor de humidade é o da capacidade de campo.

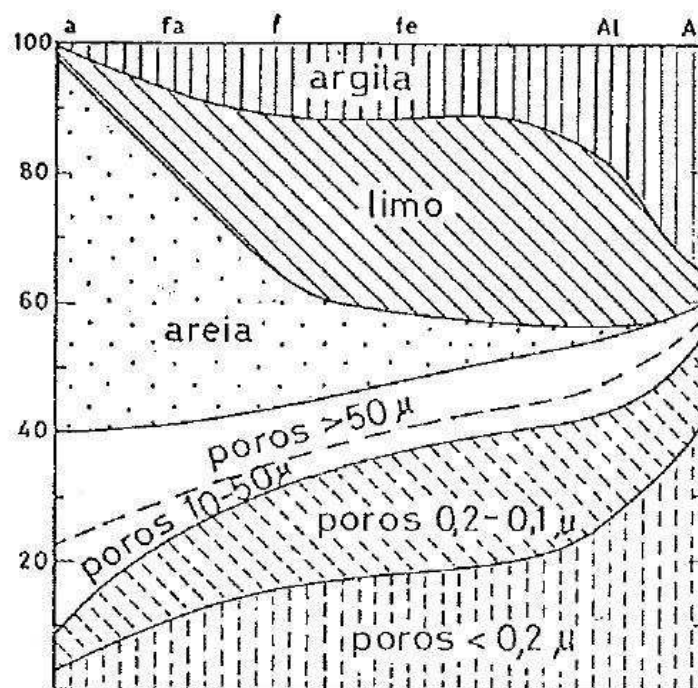


Figura 5: Teor de água, ar e matéria sólida de **solos não compactados**. Adaptado de: (Conselho Alemão de Municípios, 1968). Legenda: a – arenoso; fa – franco-arenoso; f – franco; fe – franco-limoso; Al – argilo-limoso; A – argiloso.

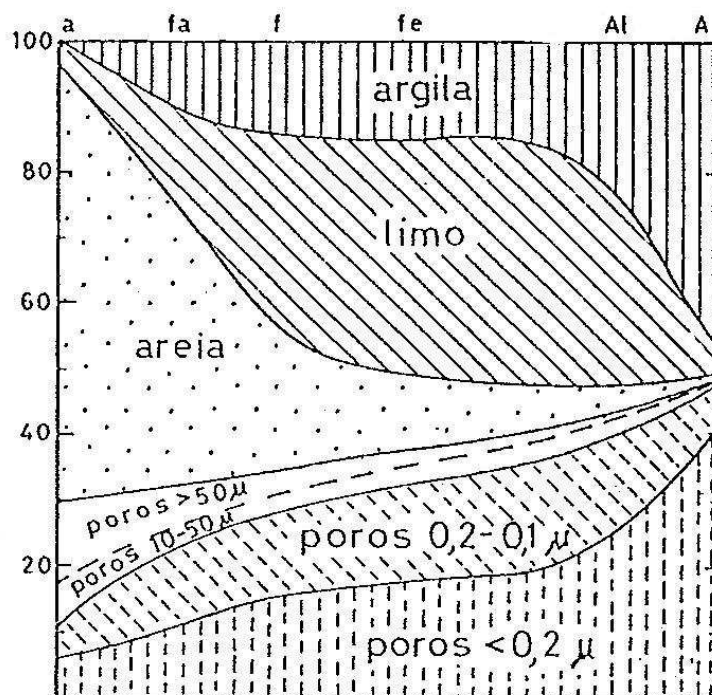


Figura 6: Teor de água, ar e matéria sólida de **solos compactados**. Adaptado de: (Conselho Alemão de Municípios, 1968). Legenda: a – arenoso; fa – franco-arenoso; f – franco; fe – franco-limoso; Al – argilo-limoso; A – argiloso.

Os diagramas mostram que o teor de ar em solos não compactados é maior do que em solos compactados e que o volume de ar (representado na faixa branca) é determinado também pelo tipo de solo. A título de exemplo, para solos argilosos não compactados, cerca de 40 % do volume é ocupado por matéria sólida, 5 % por ar e 55 % por água. Se o mesmo tipo de solo for compactado, passa a ter 52 % de matéria sólida e 48 % de água, sendo o teor de ar quase nulo.

O arejamento do solo depende ainda do nível freático e da altura da franja capilar. A relação entre ambos está representada nas Figuras 7 e 8, para vários tipos de solo, compactados ou não.

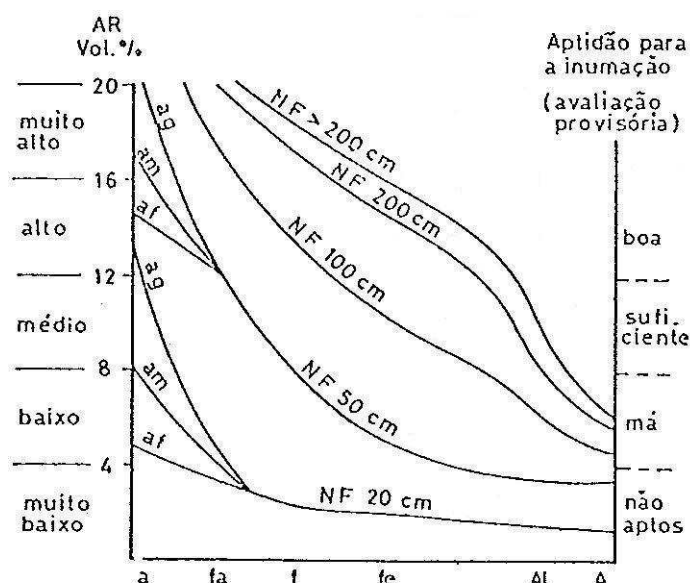


Figura 7: Arejamento e nível freático em **solos não compactados**. Adaptado de: (Conselho Alemão de Municípios, 1968) Legenda: a – arenoso; fa – franco-arenoso; f – franco; fe – franco-limoso; Al – argilo-limoso; A – argiloso; NF – nível freático.

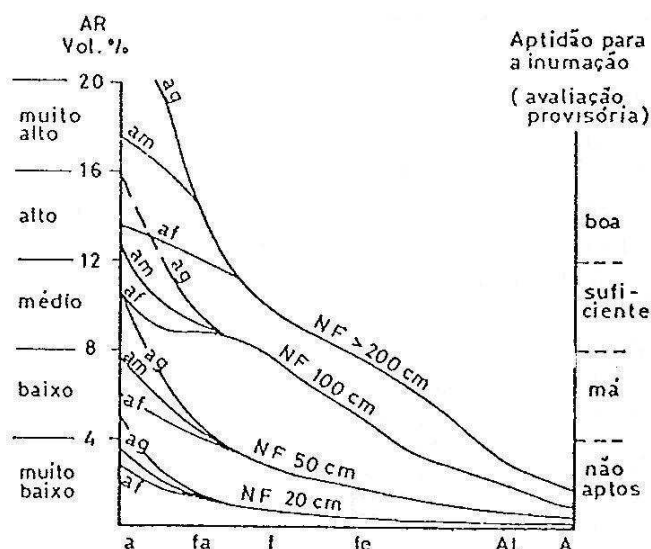


Figura 8: Arejamento e nível freático em solos compactados. Adaptado de: (Conselho Alemão de Municípios, 1968) Legenda: a – arenoso; fa – franco-arenoso; f – franco; fe – franco-limoso; Al – argilo-limoso; A – argiloso; NF – nível freático.

Como ordenada foram colocadas subdivisões do volume de ar correspondente ao estado de capacidade de campo, desde muito baixo até muito alto. À direita encontra-se uma avaliação da aptidão dos solos para a inumação, baseada no seu teor de ar. Na abcissa são considerados os tipos de solo. As curvas indicam os níveis freáticos nos quais existe um determinado teor de ar no solo. As Figuras 7 e 8 mostram duas principais tendências: quanto maior é a distância da zona saturada ao fundo da sepultura, maior é o teor de ar; teores de ar iguais, com texturas progressivamente mais finas, só são alcançáveis através de uma zona saturada cada vez mais profunda. Assim, por exemplo, em solos não compactados atinge-se 8% (v) de ar numa areia média quando a zona saturada se encontra a 0,2 m, enquanto a distância necessária entre a zona saturada e o fundo da sepultura para atingir esta mesma percentagem num solo arenoso é de 0,5 m, em areias finas/limosas 1,0 m e em solos argilosos 2,0 m.

Em solos compactados, para a obtenção dos mesmos teores de ar são necessários níveis de profundidade freática muito maiores. Solos compactados e pesados têm baixo teor de ar e, devido à reduzida permeabilidade, há tendência para acumular água nos poros do solo. Assim, o solo tem arejamento insuficiente e a decomposição é retardada.

Para a estimativa da qualidade de arejamento do solo avalia-se o tipo de solo, a densidade de estratificação, a quantidade de poros grandes, a maneira como os poros estão interconectados, o nível freático, a cor do solo e a existência de manchas de ferro e manganês.

Aos solos com características hidromórficas pertencem os solos húmidos minerais, os de planície aluvial, os turfosos e os sapais. Estes têm, com algumas exceções, níveis freáticos elevados e não devem ser escolhidos para inumação através de meios naturais. Os locais com solos deste tipo têm, contudo, diferenças consideráveis no que diz respeito à altura dos níveis máximos do nível freático. Estes níveis máximos situam-se entre 0 e 1,2 m abaixo da superfície do terreno e podem ser mais profundos quando o nível freático é drenado com obras adequadas. Se não existem na área outros terrenos para a inumação,

estes podem ser melhorados através de rebaixamento do nível freático, drenagem ou aterros. No entanto deve ser sempre considerado que não pode haver água temporária nem permanente acima do nível do fundo da sepultura. A altura do nível freático verificada em determinado momento não representa um dado estático mas permite ao técnico, tendo em conta o perfil do solo e a situação hidráulica, tirar conclusões sobre os seus níveis máximo e mínimo. Esta amplitude é difícil de prever por ser um fenómeno marcadamente sazonal. Deste modo, em solos de textura grosseira devem ser usadas nas UC espessuras maiores da camada filtrante do que em solos de textura fina. Para medir a espessura da camada filtrante deve ter-se em conta a permeabilidade do solo à água e a sua capacidade de absorção.

Nas Figuras 9 e 10 são apresentadas a distribuição da textura e a permeabilidade à água de alguns tipos de solos, como base para a distribuição e a movimentação da água e do ar no solo e, por conseguinte, a aptidão dos solos para a inumação. Os triângulos representam o mínimo e máximo do nível freático.

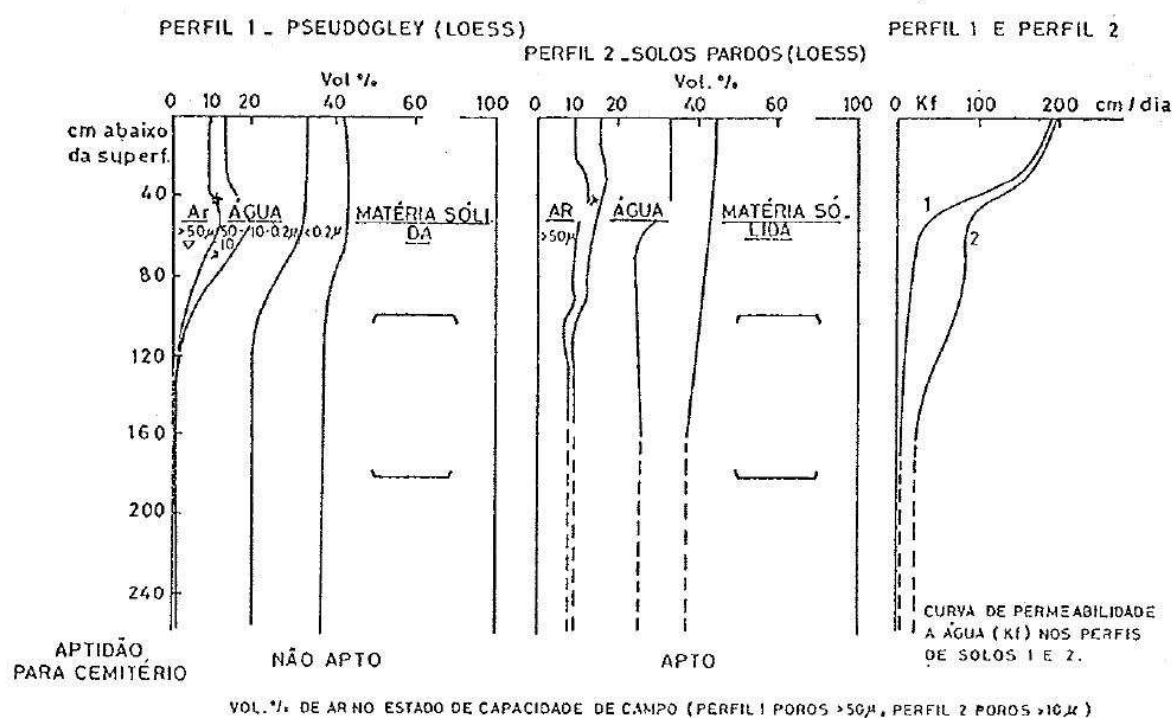


Figura 9: Distribuição de textura e permeabilidade à água I. Adaptado de: (Conselho Alemão de Municípios, 1968)

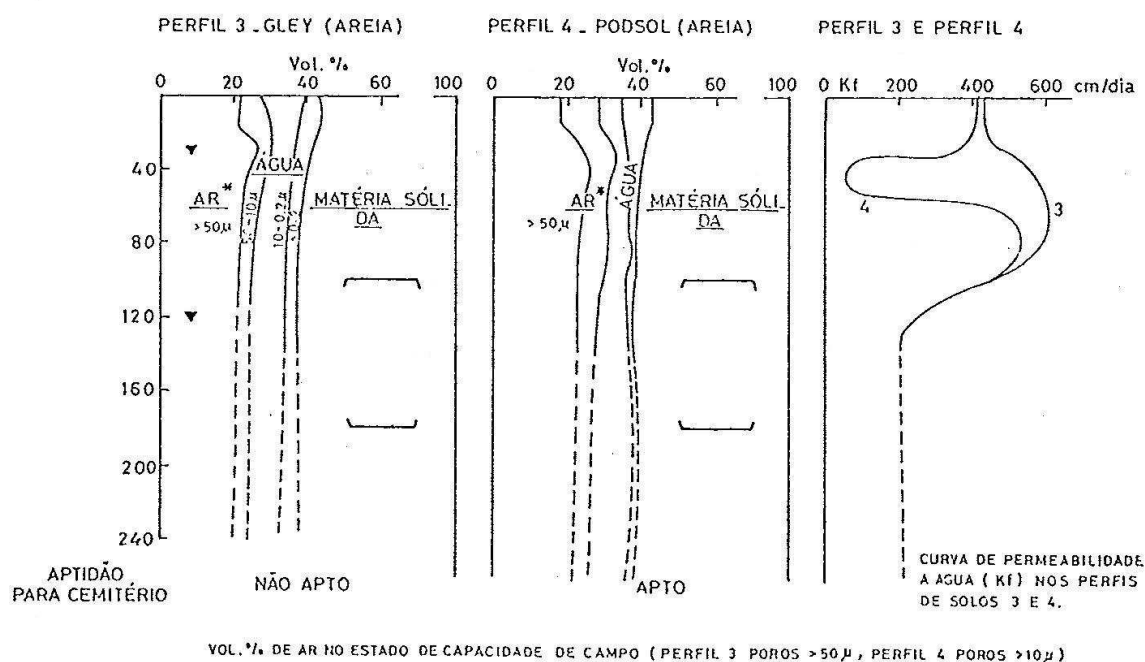


Figura 10: Distribuição de textura e permeabilidade à água II. Adaptado de: (Conselho Alemão de Municípios, 1968)

O Pseudo-Gley de Loess (solos pseudo-argilosos ou lodosos) possui um volume de ar muito baixo por ter uma percentagem baixa de poros maiores que 50 μm. A 1,2 m abaixo da superfície do terreno só há 1 a 2% (v) de volume de ar. A distribuição desvantajosa dos poros, associada a uma permeabilidade baixa (menor que 6 cm/dia a partir de 1 m de profundidade), aumentam a dificuldade de infiltração, tornando o perfil pantanoso. Este solo não é adequado para inumação. Os solos pardacentos, ao contrário, com cerca de 10% de poros com mais de 10 μm, possuem um bom arejamento e têm boa aptidão para inumação.

O Gley (solos hidromórficos que apresentam textura bastante variável ao longo do perfil) tem bom arejamento permanente até cerca de 0,3 m de profundidade. A zona entre os 0,3 e 1,2 m, conforme o nível freático é máximo ou mínimo, é bem arejada ou está saturada de água. Devido ao nível freático muito elevado, o solo não é adequado para a inumação. O Podsol (predomínio das fracções de areia grossa e fina) apresenta um arejamento muito bom, com cerca de 30% (v) de poros com mais de 50 μm, que se encontram a grandes profundidades, sendo adequado para a inumação. No entanto, a capacidade de permuta catiónica e a capacidade de campo destes solos é muito baixa.

Os sapais e os solos turfosos não são adequados à inumação. Em aterros, afloramentos de arenito ou zonas onde for possível rebaixar o nível freático é possível encontrar as condições necessárias para a inumação.

Para texturas com cerca de 2 mm de diâmetro deve haver 0,5 m de altura de infiltração até ao nível freático máximo para evitar a contaminação. Como a altura da franja capilar para esta textura é de 0,1 a 0,2 m, resta uma zona de infiltração de 0,3 a 0,4 m que é considerada suficiente para a filtração mecânica do miasma. Em texturas mais finas, a altura da franja capilar aumenta ao mesmo tempo que diminui a velocidade de infiltração melhorando a acção filtrante. Nestes solos, porém, a ascensão capilar a partir de lençóis freáticos localizados entre 0,5 e 2,0 m de profundidade, torna-se inconveniente

porque conduz a um humedecimento permanente do fundo da sepultura. Este risco não existe em texturas mais grosseiras, acima de 2 mm de diâmetro, em particular nos areões em que a franja capilar não excede 50 mm. Por outro lado, a rápida infiltração nestes solos exige uma maior profundidade do nível freático. Em areões grosseiros, sem material mais fino nos espaços intersticiais, não há acção filtrante e esta também não é alcançável por uma maior distância até à zona saturada, mesmo que a infiltração se dê horizontalmente e que nestes solos sejam percorridos dezenas a centenas de metros por dia. Neste aspecto, a exigência de um nível freático mais profundo pode garantir pouco êxito e tem-se as mesmas condições que nas rochas cársicas grosseiramente porosas em que não há qualquer acção filtrante das águas que se escoam verticalmente. Estas rochas devem ser rejeitadas para a instalação de UC. Se se parte do princípio que o limite superior da franja capilar, que ainda permite a infiltração, pode estar ao mesmo nível que o fundo da sepultura, então aparece claramente a relação com o nível freático, porque a distância ao fundo da sepultura corresponde sempre à altura de ascensão capilar do substrato. Esta altura capilar, que para o areão grosseiro se afasta apenas alguns centímetros da zona saturada e que na fracção de 2 mm de diâmetro atinge 0,5 m subindo a vários metros nas argilas impermeáveis, não garante uma filtração adequada.

Como a zona saturada deve ficar longe do fundo das sepulturas, sob dois aspectos, pode chegar-se a juízos contraditórios no caso das texturas mais grosseiras. Com efeito, para que não haja inundação das sepulturas, o nível freático pode estar pouco abaixo do fundo da sepultura devido à fraca ou nula capilaridade, mas, para que haja filtração dos contaminantes, é necessária uma distância tão grande quanto possível ao nível freático em solos de areia grossa ou areão. Então, para evitar o risco da água e para a água, os materiais de cerca de 2 mm de diâmetro são os mais apropriados. Assim, para uma textura mais grosseira ou mais fina, é necessária uma maior distância ao nível freático, para compensação da altura da franja capilar e para melhorar a eficácia da acção filtrante. Uma camada com cerca de 0,3 m de espessura de limo ou de terra franca, no fundo da sepultura, pode melhorar as condições dos solos rochosos cársicos que de outra maneira não seriam apropriados para a inumação.

Para descrever a dependência da qualidade do solo de acordo com a sua estrutura e teor em água é normalmente utilizada a granulometria. No entanto, este método não corresponde à realidade porque só em casos excepcionais os solos são constituídos por uma única granulometria. A estes solos pertencem as areias de dunas que têm inúmeras vantagens para a inumação. Ao estudar as curvas granulométricas ou as curvas totalizadoras, estes solos apresentam sempre valores máximos muito pouco acentuados. Esta característica dos solos com grande grau de uniformidade existe em sedimentos cuja formação se deveu a processos fortemente selectivos. Em Mecânica de Solos e em Hidrologia não se utiliza apenas a granulometria para analisar a permeabilidade do solo, mas também o diâmetro efectivo que tem em conta que os espaços intersticiais dos grãos de maior dimensão estão preenchidos com grãos mais finos. Esta observação é válida para as várias texturas do areão porque os fenómenos sedimentares que dão origem a uma textura uniforme, as aglomerações granulométricas estereotípicas, são raros na natureza. Assim, os areões mais grosseiros apresentam uma permeabilidade muito maior do que na realidade têm, devido ao preenchimento dos espaços intersticiais com material mais fino.

Os componentes mais grosseiros do solo quase não contribuem para a definição do diâmetro efectivo. A areia grossa e areão (2 a 20 mm de diâmetro) com limo e alguma argila (0,02 a menos de 0,002 mm de diâmetro) como aglomerado mais fino, apresenta diâmetro efectivo igual ou inferior a 0,1 mm. Até ao diâmetro efectivo de 0,2 mm, os

componentes mais finos decrescem rapidamente de maneira que areia grossa, areão e calhau rolado ou areia grossa com calhaus de diâmetro superior a 60 mm, constituem os componentes isolados. Em materiais muito grosseiros de areia grossa, areão e cascalheiras, o diâmetro efectivo é nitidamente mais pequeno do que os diâmetros dos materiais que se evidenciam de tal maneira que o diâmetro efectivo de 60 mm não é ultrapassado. Estes solos arenosos têm uma dispersão grosseira e possuem valores muito elevados de permeabilidade ( $2 \text{ a } 4 \times 10^{-3} \text{ m.s}^{-1}$ ).

Com a profundidade comum do fundo da sepultura, coloca-se ao mesmo nível o limite superior de segurança alcançado pela franja capilar associada ao limite superior da zona saturada, onde ainda há infiltração. O nível freático pode ser tanto mais elevado quanto menor a franja capilar. O percurso de infiltração deve ser longo. Apesar de se pôr em primeiro plano que o papel principal do solo na inumação é o de facilitar a decomposição, não se deve esquecer a questão da influência negativa nas águas subterrâneas para consumo humano, precisamente do ponto de vista da protecção da zona saturada. Para uma profundidade de 2 a 3 m de argilas expansivas e limos, uma altura de infiltração de 0,4 m é suficiente para atenuar a contaminação. No caso de areias médias ou grossas são necessárias alturas de 0,5 a 1,0 m.

Tendo em conta os factores analisados, chega-se à conclusão que há uma relação de qualidade entre o tipo de solo e o seu arejamento e teor de água, de modo que é possível dividi-los em 5 classes, de acordo com a sua qualidade para a inumação: 1 – muito bom; 2 – bom; 3 – suficiente; 4 – mau; e 5 – muito mau. Os solos optimamente apropriados para a inumação situam-se nos de granulometria entre 0,2 e 2 mm de diâmetro (diâmetro efectivo entre 0,1 e 0,2 mm). Se a esta classe é atribuído o número 1, às fracções de solos mais finas e mais grosseiras, que se seguem, é atribuído o número 2. Estes solos de areão fino e médio têm uma permeabilidade ainda menor. Por outro lado, este material nas escavações não é coeso, tendo pois que ser entivado, entre outras razões, porque o fundo da sepultura está a 2 m, ou mais, do nível da superfície do solo.

A classe 3 abrange, por um lado, solos de areão grosseiro e, por outro, solos limosos finos. Os primeiros possuem óptima permeabilidade ao ar e favorecem a decomposição mas não são suficientemente fechados e por isso o odor da decomposição sobe à superfície. O limo tem fraca permeabilidade o que pode impedir a decomposição. A descida da classificação continua na direcção de fracções mais finas. Aqui devem ser incluídas as espécies de argila que só permitam um arejamento muito fraco ou mesmo não permitam arejamento natural. A falta de ar impede também a decomposição, devendo os solos argilosos, acima da zona de capilaridade, ser avaliados como pertencendo à classe 4. Um teor de água mais elevado, conjugado com minerais argilosos expansivos, conduz à conservação das substâncias orgânicas, de modo que devem ser evitados. Ainda na classe 4, devem ser incluídos os areões muito grosseiros por causa do risco para a zona saturada. À classe 5 pertencem todos os solos inundados pela água freática. As classes 4 e 5 abrangem os tipos de solos que não se adequam à inumação. A atribuição destes índices deve ter em conta que os solos aqui enumerados podem aparecer uns ao lado dos outros, devendo ser feito um balanço para encontrar o índice geral.

Como as UC só podem ser construídas pelas autarquias ou por entidades com personalidade jurídica, pode inferir-se que só vão ser usados solos arenosos com boa aptidão. Se estes solos forem impermeabilizados de modo a que o arejamento e a capacidade de infiltração se mantenham, não há razão para que o fundo da sepultura não possa estar em solos de aterro.



No planeamento de UC, a selecção dos terrenos deve contemplar a avaliação da estrutura e do teor em água do solo como principais factores de decisão. É necessário que o solo tenha a possibilidade de provocar a decomposição seca de matéria orgânica num espaço de tempo o mais curto possível, pelo que deve ser seco e ter uma certa permeabilidade ao ar. Também deve contemplar uma forte acção filtrante do solo entre o fundo da sepultura e a zona saturada. Os melhores solos são os que permitem uma entrada permanente de ar e onde as condições de eficácia da sua acção provêm de bactérias aeróbias e de processos de oxidação, não havendo, portanto, apodrecimento. Com efeito o solo tem que ter uma acção filtrante suficiente sob o fundo da sepultura para reter a matéria sólida e só deixar passar os líquidos libertados pelo cadáver. Uma porosidade média corresponde a uma textura de areia média a grossa até 2 mm de diâmetro. Em texturas de 10 a 60 mm de diâmetro a permeabilidade é tão grande que podem ser libertados odores e não há segurança suficiente quanto à retenção de matéria sólida. Estes solos assemelham-se a rochas cársticas que são atravessadas por fissuras e fendas, sendo de excluir para a inumação. Finalmente, do ponto de vista económico, são de considerar solos com características técnicas que tornam fácil a escavação das sepulturas que não sejam necessárias medidas de entivação e permitam manter baixo o custo do trabalho manual, se necessário.

Absolutamente impróprios para inumação são os solos com nível freático tão elevado que os caixões estejam em solo saturado de água em algumas épocas do ano, visto que assim não se dá a decomposição e os cadáveres ficam conservados por saponificação. Além do nível freático, a franja capilar e ainda a água retida no solo a um nível superior, contrariam fortemente o processo de decomposição.

A tabela seguinte resume a qualificação de alguns solos para inumação. Em casos particulares, o diâmetro efectivo pode ser utilizado como critério de qualificação de um solo mas é mais prático partir de misturas granulosas estereotipadas. Para os solos soltos partiu-se da classificação segundo a granulometria em areão grosso, médio e fino, areia grossa, média e fina, limo e argilas, para caracterizar a permeabilidade ao ar óptima para a decomposição. Esta classificação foi alargada para inclusão na tabela de algumas formações rochosas, como xistos argilosos, calcários margosos, arenitos e grés argilosos. Além da exclusão de solos pedregosos que se encontra em algumas normas, eles foram também excluídos devido à dificuldade e custo elevado dos trabalhos de escavação. Como profundidade máxima do fundo da sepultura utilizou-se nesta tabela o valor de 2,2 m.

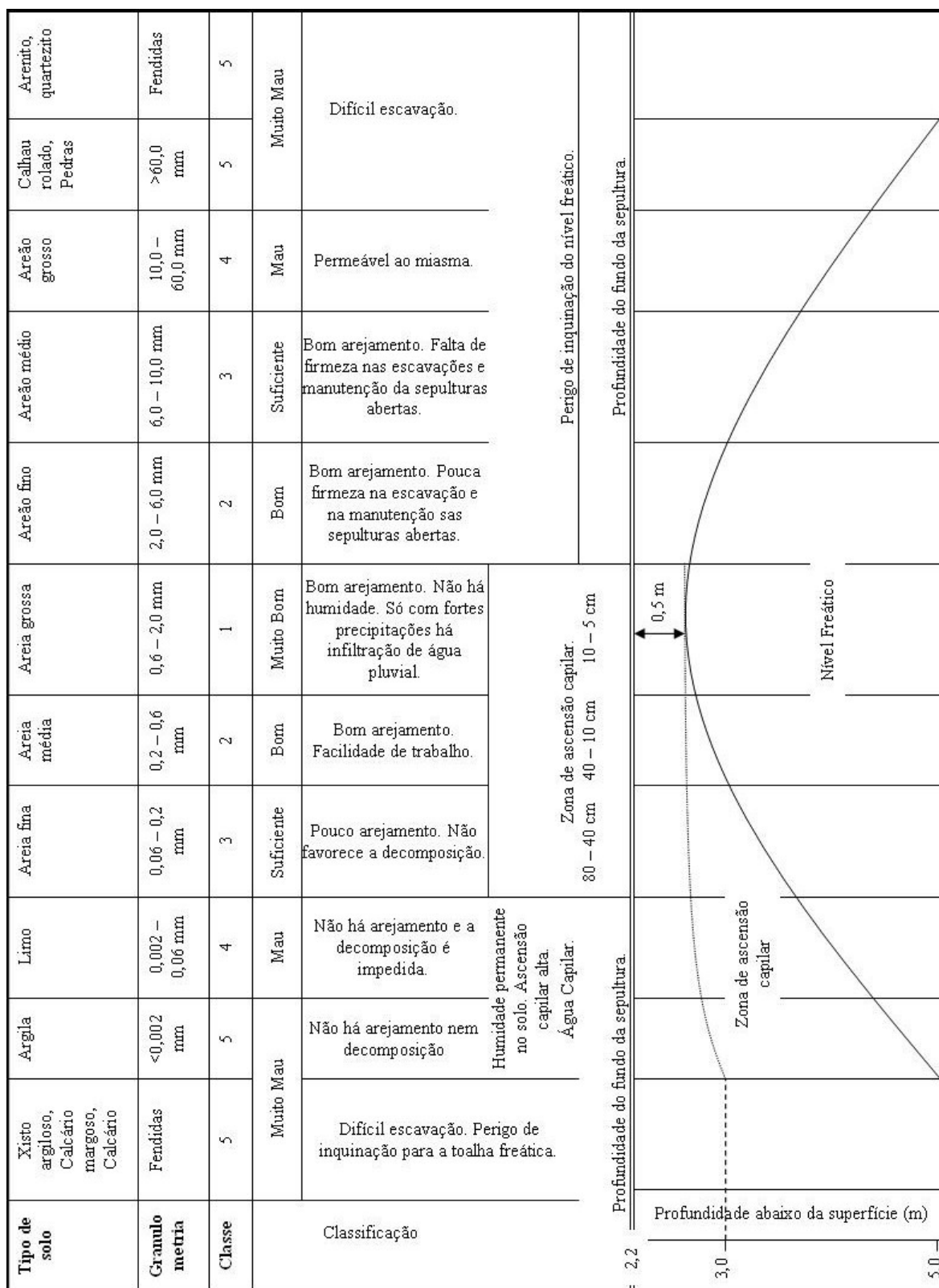


Figura 11: Qualificação de solos para inumação. (Adaptado de: Conselho Alemão de Municípios, 1968)

## 12.6. Materiais

Idealmente, urnas e cadáveres devem-se decompor rapidamente e a velocidade idêntica para que os produtos da decomposição sejam libertados e neutralizados pelo meio da mesma forma.

As urnas tradicionais são geralmente construídas com madeiras sólidas (carvalho ou pinho) ou fibras de madeira em que as partículas são unidas com resinas. A massa volúmica das fibras pode variar entre 160 e 1 450 kg.m<sup>-3</sup> mas as mais utilizadas estão entre os 600 e 800 kg.m<sup>-3</sup>. Porém, quanto menor a massa volúmica, menor o dano ambiental, tanto ao nível da destruição de florestas como das resinas e químicos utilizados no processo de produção. Os painéis de fibras de média densidade (MDF) são um produto de fibras de madeira combinadas com cera e resina, formando painéis que são submetidas a elevada temperatura e pressão. A utilização de MDF está a ser discutida pois contém colas com formaldeído que é um bactericida e pode causar mutações do ADN (Ácido Desoxirribonucleico).

Os agentes decompositores actuam mais rápido quando os cadáveres estão envoltos em tecidos, aconselhando-se tecidos de fibras naturais em detrimento dos de poliéster.

Nas urnas ecológicas são utilizados apenas vernizes e tintas aquosas, resinas biodegradáveis, tecidos de fibras naturais e madeiras de fácil degradação e de origem sustentável. As urnas articulam-se sem serem necessárias dobradiças e as abas e elementos decorativos metálicos são retirados antes da inumação.

Na Austrália foram testadas urnas feitas de cartão 100% reciclado e provou-se suportarem até 120 kg, mesmo depois de armazenadas a 3°C durante 7 dias. Representam uma alternativa, menos dispendiosa, às urnas de madeira tradicionais. São resistentes ao transporte convencional dentro das UC tradicionais e às baixas temperaturas quando há necessidade de armazenamento. As urnas de cartão reciclado traduzem-se na preservação das florestas e recuperação dos resíduos de papel e cartão.

No Reino Unido já se utilizam urnas de cartão reforçado que têm grande procura por razões ecológicas e por permitirem uma pintura personalizada, possibilitando a criação de modelos exclusivos. Talvez não tanto pela ecologia e mais pelo exotismo, as urnas de bambu são muito utilizadas nos Estados Unidos da América, seguindo os métodos tradicionais chineses.

Em Portugal, alguns directores funerários não defendem estas urnas alegando preocupações ao nível da segurança e saúde pública. No entanto, atendendo ao custo das urnas tradicionais, pode haver algum interesse económico associado, sendo necessário estudos para determinar o potencial de poluição da degradação das urnas e tecidos inumados. É importante estabelecer padrões para os tipos de materiais utilizados e incentivar a utilização de materiais recicláveis, de fácil decomposição e de origem sustentável.

## 12.7. Zonas verdes

A vegetação ajuda a garantir a tranquilidade e o respeito devido ao local e além do seu valor ornamental, abrevia a decomposição cadavérica e a destruição de matéria orgânica, tratando-se de um elemento purificador. A vegetação na periferia das UC restringe o transporte de alguns vírus e bactérias no solo, favorece a absorção de nutrientes e pode promover a acumulação de metais pesados. Árvores com raízes profundas consomem grandes volumes de água na zona não saturada e ajudam na retenção das águas

de infiltração da UC, impedindo que se alastrem em profundidade e para fora dos limites da unidade. O nível freático também irá diminuir devido à retenção da água pelas plantas. É necessário ter cuidado para que as raízes não invadam sepulturas e jazigos, nem destruam o piso e infra-estruturas. Os relvados podem levar a uma infiltração extra, devido a processos de rega, pelo que não são aconselhados. Plantas invasivas ou que destruam o habitat existente devem ser evitadas, devendo optar-se por espécies autóctones.

As zonas verdes devem fazer a transição entre a povoação e a UC ou ainda fazer a ligação com outros espaços verdes, tornando o espaço mais agradável e harmonioso. A UC deve estar integrada na cidade e a entidade gestora deve-a conservar e tornar acessível para que a população a respeite e utilize.

Uma forma de minimizar os impactes estéticos e psicológicos das UC é a substituição do imobiliário funerário por áreas verdes vastas e organizadas, garantindo a melhoria das instalações e da manutenção das estruturas.

### **12.8. Resíduos cemiteriais**

Deve haver um plano de gestão de resíduos cemiteriais.

Os resíduos sólidos provenientes dos processos operacionais e actividades relacionadas com as UC, tais como flores, embalagens, resíduos de exumações, jardinagem, entre outros, na maior parte das vezes não apresentam qualquer contaminação mas é importante dar-lhes o destino adequado tal como a outros resíduos de serviços de saúde. Esses resíduos não devem ser armazenados dentro do perímetro de segurança do empreendimento nem em aterros sanitários, devendo considerar-se que podem ser focos de fungos, bactérias ou vírus. É importante enterrar ou incinerar estes resíduos na própria UC. Caso não seja possível, os resíduos devem ser retirados por empresas especializadas em resíduos de serviços de saúde, devidamente licenciadas, após pré-tratamento adequado por questões de prevenção, pois não foram encontrados registos de surtos epidemiológicos resultantes destes resíduos.

### **12.9. Medidas de protecção e prevenção**

Nas UC já existentes deve ser estudada a possível contaminação e para as novas devem ser feitos estudos para avaliação da viabilidade do local, devendo ser apresentadas alternativas ou medidas de adaptação do empreendimento às condições geoambientais.

No caso de detecção de contaminação causada por UC, as medidas correctivas e preventivas, critérios para a remediação e reutilização dessas áreas, devem estar incluídas na legislação. A decisão de utilização da área para outra finalidade, mesmo com planeamento para o encerramento de actividades, tem implicações legais a seguir, por exemplo, o prazo legal de exumação, medidas de compensação e indemnização e questões culturais e religiosas.

As UC devem ter zonas de protecção (maiores em solos argilosos do que arenosos) em todas as fronteiras mas particularmente no fundo topográfico e secções inferiores do gradiente hidráulico, sendo necessário manter estanque a base das sepulturas. Os impactes poderão ser amenizados através da instalação de filtros biológicos, redes de drenagem superficial e subterrânea, mantas de impermeabilização, laje de fundo com colecta de miasma, mecanismos de conversão das águas, colectores diferenciados de resíduos, construção de sepulturas de forma adequada e ordenada, entre outros equipamentos ou procedimentos considerados essenciais, incluindo a definição e instalação de um plano de

monitorização através de piezómetros e análise da qualidade física, química e biológica da água subterrânea. Este plano de monitorização deve abranger a área interna e a envolvente, sendo que a qualidade da água deve ser analisada antes do início de operação para o estabelecimento da qualidade de fundo do aquífero freático, devendo existir sempre um ponto de amostragem a montante da unidade para detectar alterações de fundo. A contaminação pode ficar acumulada nos solos durante os meses secos e ser lixiviados no início do período de recarga. A monitorização de águas subterrâneas e superficiais deve continuar a ser feita após a desactivação da UC para que haja acompanhamento do processo de remediação, natural ou artificial, dos impactes ambientais.

Caso seja detectada contaminação, as inundações devem ser suspensas enquanto se investigam as causas da deterioração e se aplicam medidas correctivas para prevenir novas situações de poluição. No caso de encerramento de actividades, devem ser tomadas medidas de recuperação da área utilizada e indemnização de possíveis vítimas.

Em locais onde haja baixa capacidade de depuração do solo ou necessidade de adição de oxidantes para neutralização de lixiviados ou contenção de contaminação, podem ser utilizados métodos artificiais de depuração biológica e físico-química para proteger a zona saturada. As substâncias oxidantes, consideradas de baixo custo e de eficiência e ganho ambiental positivo (como o peróxido de hidrogénio e o peróxido de cálcio), são adicionadas para eliminar microrganismos, promover a assepsia do subsolo, acelerar a degradação da matéria orgânica e conferir teor de oxigénio residual ao efluente percolante para a zona freática.

É importante consciencializar as pessoas que utilizam água de poços na envolvente de UC, com vista à protecção, limpeza periódica e desinfecção dessas águas, além de cuidados por parte das UC no sentido de controlar a qualidade da água freática e a sua potabilidade.

Os vasos e jarras utilizadas na decoração das campas devem ter apenas flores artificiais e estar isentas de água, para evitar a proliferação de mosquitos e outros insectos.

Os veículos de transporte de cadáveres devem ser especialmente destinados a esse fim e deverão ser de fácil lavagem e desinfecção.

### 13. Estudos a considerar na escolha de locais para unidades cemiteriais

Para avaliar o impacte ambiental de uma descarga poluente, é necessário conhecer a descarga, os organismos e plantas que podem ser afectados, o volume e características dos contaminantes e as características de atenuação dos percursos percorridos. O risco de contaminação das águas subterrâneas é controlável através de medidas baseadas em estudos geológicos, geográficos e hidrogeológicos prévios à implantação de UC. Deve-se recorrer a técnicas de construção modernas e às melhores tecnologias disponíveis. Não existem duas propostas ou dois locais idênticos e é importante que sejam considerados os factores específicos para determinar a vulnerabilidade de cada local.

Onde os riscos aparentes se consideram baixos, um controlo pragmático baseado em guias de boas práticas deverá ser suficiente para proteger o ambiente. Se o estudo inicial sugerir que o risco não é certo ou que pode ser elevado, devem ser feitos estudos mais detalhados. Na maioria dos casos deve ser possível encontrar medidas apropriadas para prevenir a poluição do ambiente. No entanto, em qualquer fase dos estudos deve ser possível rejeitar a proposta se os riscos forem inaceitáveis. É importante notar que a natureza e extensão de informação requerida em qualquer fase da avaliação do risco é específica a cada local individual (Young et al., 1999).

Os principais parâmetros a considerar na avaliação de terrenos para a instalação de uma nova unidade são (Rodrigues, 2002) e (Silva, 2005):

- Descargas e poluentes
  1. Composição da carga poluente;
  2. Frequência e variação,
  3. Volume;
  4. Carácter de intensidade do efeito;
  5. Possíveis interacções com a zona saturada e zona não saturada do solo;
  6. Ciclo do contaminante: advecção, difusão, adsorção, desadsorção, degradação química e decaimento, volatilização, hidrólise, fotólise, oxidação, permuta catiónica, complexação, especiação, transformação biológica e microbiológica, adsorção/absorção pelas plantas, bioacumulação.
- Geologia do local
  1. Características físicas:
    - Estrutura geológica: diáclases, dobras, falhas, fracturas, entre outros;
    - Características de litologia, topografia, textura, granulometria, massa volúmica, porosidade, permeabilidade e estrutura do solo;
    - Capacidade de drenagem, infiltração e percolação da água;
    - Profundidade radicular efectiva.
  2. Características químicas e mineralógicas:
    - Minerais argilosos, carbono orgânico e óxidos metálicos;
    - Potencial para desenvolvimento mineralógico;
    - Capacidade de permuta catiónica e concentração de catiões permutáveis;
    - Acidez;
    - Potencial redox;

- Teor de matéria orgânica.
- 3. Estabilidade do terreno onde vão ser feitas as escavações;
- 4. Profundidade e características da rocha-mãe ou de blocos rochosos;
- 5. Resistência à compressão simples;
- 6. Adequação para instalações subterrâneas, deposição de resíduos e construções pesadas.
- Hidrogeologia do local
  1. Drenagem superficial e subterrânea;
  2. Qualidade e características químicas da água do aquífero;
  3. Características litológicas dos aquíferos
    - Tipo (rocha fracturada, calcário, areia);
    - Propriedades de transmissividade;
    - Porosidade (primária e secundária);
    - Coeficiente de armazenamento ou cedência específica;
    - Espessura (total e saturada);
    - Características da camada confinante (aquicludo);
    - Profundidade.
  4. Características hidráulicas dos aquíferos
    - Profundidade do nível freático;
    - Flutuações sazonais;
    - Aquíferos suspensos;
    - Nascentes e cursos de água superficiais;
    - Características do fluxo de base;
    - Níveis estáticos representados num mapa de pressões;
    - Ascensão da franja capilar;
    - Fontes de recarga (afloramentos e infiltração);
    - Direcção de fluxo;
    - Velocidade de fluxo.
- Uso da terra no local:
  1. Proximidade de furos, poços e locais de injeção de água ao local em estudo e informação das suas características de construção e da qualidade de base da água;
  2. Actividades existentes relacionadas com a acumulação e tratamento de resíduos e outras fontes de contaminação naturais ou antropogénicas.
- Características meteorológicas do local e suas possíveis variações.

Para o desenho de um sistema de monitorização das águas subterrâneas adequado é necessário o conhecimento (Silva, 2005):

- Da mecânica e dinâmica de propagação do contaminante;
- Das propriedades do aquífero: permeabilidade e porosidade;
- Da natureza do mecanismo controlador do fluxo subterrâneo.

Os objectivos do programa de monitorização são (Silva, 2005):

- Obter e registar dados para efectuar avaliações durante períodos longos de modo a certificar-nos que se verificam os padrões de qualidade exigidos;
- Detectar variações sazonais;
- Detectar variações de fundo (monitorização a montante);
- Detectar e alertar sobre o movimento de contaminantes para zonas de risco;
- Determinar a natureza, grau e extensão da contaminação;
- Determinar os mecanismos de propagação e os parâmetros hidrológicos, de modo que se possam accionar medidas de remediação;
- Determinar a eficácia das medidas de remediação accionadas;
- Verificar os modelos nos quais se baseiam as medidas minimizadoras.

A construção de piezómetros para monitorização deve atender aos seguintes factores (Silva, 2005):

- A profundidade e o diâmetro dependem da função;
- Deve ser construído em material não reactivo com a água;
- Devem ser estrategicamente localizados e em número que permita dar uma noção da extensão, configuração e concentração da pluma de contaminação;
- Devem ser construídos 2 a 3 piezómetros associados a diferentes profundidades;
- Os piezómetros devem ser colocados na direcção do fluxo subterrâneo, a diferentes distâncias da fonte poluidora para determinar a propagação da pluma de contaminação. Devem ser instalados também a montante da fonte de contaminação para detectar alterações de fundo.





## 14. Contaminação das águas subterrâneas por unidades cemiteriais

Em 1998, a OMS elaborou uma pequena revisão do estado de conhecimento actual relativamente à presença, ou ausência, de contaminação do solo ou água subterrânea devido a UC, com o intuito de avaliar o seu impacte no ambiente e na saúde pública. Este estudo mostra preocupação com o impacte que as UC poderão causar nas águas subterrâneas através do aumento da concentração de substâncias orgânicas e inorgânicas e eventual presença de microrganismos patogénicos, devido à infiltração dos produtos da decomposição de cadáveres e materiais utilizados nas práticas funerárias. Se a UC estiver num solo vulnerável, o movimento da água pode ser rápido, podendo misturar-se com a água subterrânea. Conceptualmente isto pode ser a causa de epidemias locais causadas por veiculação hídrica onde a água subterrânea é utilizada como fonte de água de abastecimento (Üçisik e Rushbrook, 1998).

O termo risco de contaminação define-se como a probabilidade das águas subterrâneas se tornarem contaminadas e apresentarem, em resultado disso, concentrações acima dos valores recomendados para a qualidade de água para o uso pretendido. A interacção entre a carga contaminante e a vulnerabilidade do aquífero determinam o risco de contaminação do aquífero. Assim, pode ser obtida uma vulnerabilidade sem risco de contaminação, pela ausência de uma carga significativa de contaminantes, e vice-versa.

O grau de vulnerabilidade de um aquífero depende, fundamentalmente, das características litológicas, hidrogeológicas, sanitárias, profundidade a que se encontra o nível da água e ainda da disponibilidade e actividade de vectores de contaminação. Dependendo do tipo de solo e, em especial, da sua permeabilidade e do nível freático, a carga contaminante do miasma poderá ou não ser eliminada. Sob determinadas condições geológicas, como solos muito permeáveis, rochas fracturadas ou com canais de dissolução, o miasma poderá atingir o aquífero, com as suas cargas químicas e biológicas praticamente inalteradas (Rodrigues, 2002).

No meio poroso não saturado ocorrem acções naturais de defesa, em especial na zona activa do solo. Essas acções são atribuídas a interacções físicas com o solo que retardam o processo de contaminação e reacções químicas que podem reduzir a concentração de contaminantes. As interacções físicas devem-se a fenómenos de filtração mecânica, adsorção e permuta iónica, enquanto que as principais reacções químicas são de hidrólise, precipitação e complexação e transformações bioquímicas. Em condições desfavoráveis, os efeitos estabilizadores do solo podem ser insuficientes para eliminação dos contaminantes oriundos da decomposição.

No solo que envolve a sepultura ocorrem intensas reacções bioquímicas e processos físicos e químicos que são importantes na atenuação da contaminação. Os sedimentos ou rochas que formam a zona não saturada abaixo da sepultura são menos activas biológica e quimicamente do que a camada superior e a taxa de arejamento é menor, podendo formar-se condições anóxicas (Young et al., 1999).

Estas interacções também ocorrem na zona saturada mas a uma taxa muito menor, sendo esta mais eficiente na redução da concentração dos contaminantes através da diluição e dispersão. A extensão da filtração depende da natureza do aquífero e as reacções químicas dependem da qualidade química da água subterrânea (Environment Agency, 2004).

As sepulturas confinam os produtos de decomposição a uma área e tempo específicos, não sendo a libertação constante e a urna retém os produtos até a sua estrutura colapsar (Dent e Knight, 2007).

Entre 1970 e 1995 foram analisadas 600 UC no Brasil, das quais 15 a 20 % revelaram contaminação e poluição do solo (Campos, 2007).

A utilização indiscriminada de óxido de cálcio (cal) contribui para o aumento da concentração de sólidos totais e cálcio. As partes metálicas das urnas, como alças e adereços e as tintas e vernizes utilizados, são consideradas as principais fontes de contaminação pelos metais zinco, cobre, ferro, manganês, cobre, prata, crómio, níquel e alumínio (Barros et al., 2008).

A decomposição dos cadáveres eleva a concentração de nutrientes, compostos azotados e microrganismos nas águas subterrâneas. Os contaminantes persistentes, como os compostos azotados, são muito solúveis na água e não interagem com o complexo de adsorção do solo, sendo arrastados para as camadas mais profundas do solo pelas águas de percolação (Campos, 2007).

Contaminantes químicos, como arsénico e mercúrio, usados em antigas práticas de embalsamento, podem ter sido responsáveis pela contaminação do solo e da água em UC. Actualmente, os processos artificiais de conservação recorrem a soluções de formaldeído que é um composto volátil e de rápida degradação na presença de matéria orgânica, devendo a sua presença ficar restrita à área da sepultura (Barros et al., 2008).

Os trabalhos publicados sobre contaminação de águas subterrâneas por UC confirmam que a decomposição produz localmente uma pluma salina de contaminação. Admitindo que a pluma flui da área interna da UC para a área externa, as captações de água subterrânea para consumo humano podem levar a riscos de saúde pública.

Nos cadáveres mumificados naturalmente estão presentes fungos que, em forma de esporo, sobrevivem muitos anos, o mesmo acontecendo no caso de vírus que estão em estado inactivo. Os cadáveres saponificados podem ocorrer em qualquer UC e a sua constituição é essencialmente à base de lípidos e líquidos, ambiente no qual os vírus sobrevivem. Normalmente quando ocorre este tipo de fenómeno, e no final do período mínimo de inumação, colocam-se produtos que aceleram a decomposição ou o cadáver é trasladado (Pacheco e Saraiva, 2005).

As UC verdes geralmente têm taxas de decomposição mais aceleradas devido à reduzida profundidade a que são feitas as inumações, à natureza biodegradável das urnas e tecidos utilizados e à ausência de embalsamento. Nestas zonas a taxa de infiltração pode ser menor devido à evapotranspiração das árvores e arbustos. A decomposição será principalmente aeróbia, produzindo dióxido de carbono, água, nitrato e enxofre, que são menos poluentes do que os produtos de decomposição anaeróbia ([www.ecofunerals.co.nz](http://www.ecofunerals.co.nz)).

Por vezes as UC são tratadas como um tipo especial de aterro sanitário. Contudo, existem várias diferenças derivadas do facto de nas UC existir essencialmente matéria orgânica em decomposição. O teor em água de um cadáver humano é cerca de duas vezes superior ao dos resíduos sólidos urbanos e a falta de humidade pode inibir as reacções aeróbias e anaeróbias que ocorrem nos aterros sanitários, ao passo que o conteúdo elevado em humidade constituinte do corpo humano pode levar a um rápido processo de decomposição. Por outro lado, a razão C:N:P dos cadáveres é cerca de 30:3:1 e possibilita um balanço adequado entre os nutrientes microbianos mais importantes. Para os resíduos de aterro a razão é 2000:20:1, ou seja, é extremamente deficiente em fósforo e azoto. Ambos factores contribuem para a rápida e completa decomposição de cadáveres, quando comparado com resíduos domésticos. A proporção de cálcio, sódio e potássio é semelhante nos cadáveres e nos resíduos sólidos urbanos, mas estes últimos contêm uma percentagem muito elevada de ferro e magnésio. O lixiviado resultante de aterros sanitário tem um

efeito bactericida adicional (devido ao pH, condutividade eléctrica e presença de antagonistas químicos), diminuindo os riscos microbiológicos.

O efluente de fossas sépticas é semelhante aos lixiviados das UC. Nas fossas sépticas predominam as condições anaeróbias, pelo que o efluente resultante contém, principalmente, azoto amoniacal e orgânico. Caso se trate de fossas aeróbias, prevalece o azoto sob a forma de nitrato. Relativamente aos microrganismos, encontram-se índices elevados de coliformes totais e fecais, estreptococos fecais e *Pseudomonas aeruginosa*. As bactérias presentes nas fossas sépticas formam uma cápsula que, ao cobrir o fundo da fossa, leva à redução do diâmetro dos poros do solo e restringe o movimento do efluente para o solo, o que diminui o impacte dos lixiviados nas águas subterrâneas. Estes fenómenos vêm acrescentar-se aos outros mecanismos que ocorrem no solo e que contribuem para a remoção dos compostos orgânicos, nomeadamente, a filtração, a decomposição e a incorporação nas células microbianas (Rodrigues, 2002).

Os animais têm características de decomposição semelhantes aos cadáveres humanos ou com proporções aumentadas de tecidos de decomposição moderada. A contaminação gerada por UC animais pode levar a riscos epidemiológicos acrescidos devido à introdução de uma fauna de microrganismos que estão presentes apenas nos animais. Os patogénicos encontrados são mais preocupantes pois revelam a presença de organismos esporolantes que resistem às condições ambientais após a morte do animal, o que indica a presença de uma fauna diferente da encontrada nas UC de humanos. É necessário investigar e identificar o grau de patogenicidade desses microrganismos, bem como a sua diversidade. Na maior parte dos casos, as causas da morte dos animais são desconhecidas, aumentando a dimensão do problema. A inumação a menor profundidade, a utilização de urnas de fácil degradação e a ausência de fluidos de embalsamento aceleram a decomposição (www.usp.br).

Muitos países têm preocupações com a utilização de água subterrânea e estabelecem distâncias mínimas entre UC e poços de abastecimento de água potável. Assim, na França a distância mínima é de 100 m e na Holanda e Inglaterra é de 150 m (Campos, 2007).



## 15. Transporte e retenção de contaminantes no solo e na água subterrânea

Os solos geralmente apresentam boa capacidade atenuante e depurativa mas, dependendo da intensidade da carga contaminante e da condutividade hidráulica, podem tornar os aquíferos muito vulneráveis à contaminação (Braga, 2008).

O principal risco associado à actividade cemiterial é o da disseminação de doenças a partir dos microrganismos, por contacto directo (maior risco para os funcionários) ou indirecto através de fontes de abastecimento de água contaminadas ou animais vectores de doenças. A migração de poluentes no subsolo depende essencialmente do tipo de solo, declive do terreno, direcção dos ventos, gradiente hidráulico, profundidade da água subterrânea e intensidade, continuidade e quantidade de contaminação (Leitão et al., 2006).

Segundo a Companhia Brasileira de Tecnologia de Saneamento Ambiental (1999), a Agência Ambiental Britânica (2002) e a Organização Mundial de Saúde (1998), os indicadores químicos e biológicos mais importantes para a monitorização de águas na zona de UC são: pH, Condutividade Eléctrica Específica (CEE), iões (principalmente  $\text{Cl}^-$ , carbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ),  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ), azoto (N), fósforo (P), dureza ou alcalinidade, metais pesados (por ex., ferro e cromo total), Carência Química de Oxigénio (CQO), Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO<sub>5</sub>), Carbono Orgânico Total (COT), bactérias heterotróficas, bactérias proteolíticas, bactérias lipolíticas, Clostrídios Sulfito Redutores (CSR), Coliformes Totais (CT), Coliformes Fecais (CF), Estreptococos Fecais (EF), entre outros que se revelem localmente importantes. Para evidenciar a presença de microrganismos patogénicos em águas subterrâneas utiliza-se, geralmente, o grupo *Salmonella*.

Com base nos casos de estudo analisados, pode concluir-se:

- Os contaminantes encontrados em maior quantidade geralmente correspondem aos constituintes elementares maioritários do corpo humano. Os contaminantes químicos e metais pesados devem-se às práticas tradicionais de inumação.
- O pH controla a maior parte das reacções químicas e actividade microbiológica. Um pH elevado diminui a solubilidade de iões metálicos em águas oxigenadas, ou seja, o aumento do pH provoca a diminuição de iões metálicos dissolvidos. A acidez pode ser inerente ao meio ou pode ser causada por fenómenos atmosféricos, presença de matéria orgânica no meio ou por substâncias utilizadas nas práticas funerárias.
- A CEE elevada de um solo pode estar associada a um acréscimo de sais minerais provenientes dos processos de decomposição ou pode dever-se à lixiviação superficial ou subsuperficial. Os locais de maior CEE são geralmente escolhidos para instalar piezómetros.
- A dureza de uma água deve-se à presença de catiões bivalentes, principalmente cálcio (proveniente da cal ou da desmineralização dos ossos) e magnésio. Estes iões estão geralmente associados aos aniões bicarbonato, sulfato, cloreto e nitrato.
- Os nitratos representam o produto final da mineralização da matéria orgânica por via aeróbia. Quando as condições são anaeróbias, as proteínas são decompostas a azoto e o nitrato é reduzido a amónia por acção bacteriana. Então, a contaminação por matéria orgânica deve ser avaliada pela análise de todos os compostos azotados.

- O aumento de matéria orgânica na água subterrânea também provoca um aumento do CBO<sub>5</sub>, CQO e COT. A rápida desoxigenação da água potencia a reprodução de patogénicos.

A presença de uns organismos e ausência de outros pode reflectir a sobrevivência dos diversos microrganismos às condições ambientais encontradas na proximidade das sepulturas. A matéria orgânica e os sais minerais proporcionam condições favoráveis ao crescimento de *P. aeruginosa*, aumentando a competição nutricional contra bactérias do grupo coliforme que vêem o seu número reduzido. Este fenómeno antagonista pode mascarar os resultados das análises.

O grupo dos CF reúne um grande número de bactérias, entre elas a *Escherichia coli*, de origem fecal, embora não exclusivamente humana, e que dificilmente se multiplicam fora do trato intestinal. As bactérias do género *Citrobacter*, *Eritrobacter* e *Klebsiella*, que são identificadas pelas técnicas laboratoriais como CT, podem ser encontradas no solo e em vegetais (Lopes, 2007). Os CF têm sido um dos indicadores de uso mais frequente na avaliação da qualidade da água. Um dos problemas do uso deste grupo é que o seu tempo de sobrevivência no solo e nas águas subterrâneas é inferior ao de alguns patogénicos. A maior vantagem é que não têm demonstrado condições de desenvolvimento no meio aquático, diferindo dos CT, e sobrevivem tempo suficiente para serem um indicador útil. Os estreptococos fecais são também excretados nas fezes humanas mas podem sobreviver por tempo maior em águas subterrâneas mantidas naturalmente em temperaturas baixas (Martins et al., 1991). Como a identificação de microrganismos patogénicos é difícil e dispendiosa, é habitual considerar a contagem de bactérias coliformes como indicador da sua presença e de contaminação por matéria orgânica.

Os CSR são bactérias que formam esporos o que lhes confere maior capacidade de permanência no solo pois permite a resistência a condições adversas. Quando estes esporos germinam sob baixas pressões de oxigénio há formação de toxinas e enzimas que manifestam os seus efeitos, incluindo a morte, passadas 12 a 36 horas após a contaminação. Esta característica torna-os bons indicadores de contaminação antiga.

O transporte e comportamento de contaminantes no subsolo são afectados pelas características do meio e pelas propriedades físicas, químicas e biológicas dos contaminantes. As características do meio que interferem nos processos de transporte podem ser físicas ou químicas. Entre as físicas estão a textura, a porosidade e a condutividade hidráulica, que determinam o regime de recarga, o tipo de escoamento subterrâneo e a superfície de contacto, condicionando assim as possíveis interacções químicas entre a água que circula e as formações envolventes. Entre as químicas encontra-se o tipo de solo, pH, potencial de oxidação/redução e a capacidade de permuta iónica, que condicionam o grau e a extensão das reacções com os elementos em suspensão na água.

A sobrevivência e o transporte de microrganismos no subsolo dependem do clima, tipo de solo e natureza dos microrganismos. Os parâmetros que mais influenciam o transporte de contaminantes são a temperatura, precipitação, humidade do solo, actividade microbiana, pH, quantidade de matéria orgânica presente e textura do solo (Leitão et al., 2006). Os microrganismos morrem aproximadamente duas vezes mais rápido com cada aumento de 10°C a temperaturas entre 5 e 30°C e, conseqüentemente, a sobrevivência dos microrganismos é maior a baixas temperaturas (Üçisik e Rushbrook, 1998).

Por outro lado, a sobrevivência de microrganismos é reduzida em solos ácidos pois o pH baixo favorece a adsorção de vírus e pH elevado favorece a sua desadsorção,

enquanto a acção da luz solar e da evaporação diminui o período de sobrevivência dos microrganismos na superfície do solo.

A presença de matéria orgânica é favorável à sobrevivência de bactérias e à sua reprodução. A matéria orgânica solúvel compete com os microrganismos por locais de adsorção nas partículas do solo, resultando em menor adsorção ou desadsorção de vírus. Em solo estéril, os microrganismos sobrevivem mais tempo pois a microflora compete com as bactérias por nutrientes. Os microrganismos aeróbios afectam adversamente a sobrevivência dos vírus mas os microrganismos anaeróbios não a afectam.

O estabelecimento de gradientes iónicos, na coluna do solo, após períodos chuvosos, favorece o arraste de microrganismos para zonas mais profundas (Campos, 2007).

É interessante manter uma camada de solo não saturado entre qualquer fonte de contaminação e o aquífero, pois a condutividade hidráulica diminui rapidamente com a diminuição do grau de saturação. Os microrganismos ao serem transportados na água subterrânea estão sujeitos a diversos processos que os podem remover. A remoção de microrganismos é inversamente proporcional ao tamanho dos grãos do solo. Por outro lado, os compostos voláteis e os gases migram mais rapidamente em direcção à superfície através do solo não saturado (Barbosa e Coelho, 2002). Com o tempo, alguns microrganismos poderão ficar presos entre os grãos a maiores profundidades, passando a agir como filtros. Esta espécie de colmatação aumenta o poder de filtragem do meio (Matos, 2001).

O solo constitui um meio no qual vivem numerosos microrganismos responsáveis por uma série de processos metabólicos. As bactérias heterotróficas compreendem a grande maioria dos habitantes do solo, usam substâncias orgânicas como fontes de energia e são primariamente relacionadas com a decomposição da celulose e hemicelulose, gomas e açúcares, proteínas e outros compostos azotados e gorduras. É de grande importância a determinação da densidade de bactérias heterotróficas, seja em águas brutas, para consumo humano, para determinação das condições higiénicas da fonte, seja em águas tratadas, tanto para avaliação da eficiência das diversas etapas de tratamento, como para a avaliação das condições higiénicas ao longo da rede de distribuição. É impossível obter uma contagem total pois a água contém diversos tipos de bactérias cujas necessidades de nutrientes e temperatura óptima para crescimento são variáveis, e um único meio de cultura e temperatura de incubação pode não satisfazer as necessidades fisiológicas das bactérias que podem estar presentes na amostra.

As duas fontes mais correntes de carbono para os microrganismos são o dióxido de carbono e a matéria orgânica. Se um microrganismo utiliza o dióxido de carbono, é designado autotrófico e se recorre ao carbono orgânico é designado heterotrófico. Assim, condições aeróbias podem ser detectadas pela presença de bactérias heterotróficas aeróbias e condições anaeróbias por bactérias heterotróficas anaeróbias.

As bactérias proteolíticas são responsáveis pela decomposição de proteínas e as bactérias lipolíticas são decompositoras de lípidos. Ambas estão relacionadas com a decomposição de matéria orgânica vegetal e animal (FUNASA, 2007).

O tipo de material da zona não saturada condiciona o tempo de contacto dos contaminantes, particulados ou dissolvidos, com as partículas que a constituem, a atenuação de metais pesados e outros compostos químicos inorgânicos e a eliminação de bactérias e vírus. Podem ocorrer diversos processos físicos e químicos como a neutralização, oxidação/redução, filtração mecânica, absorção, adsorção, permuta iónica, precipitação/solução, volatilização, dispersão e degradação biológica (fixação bacteriana).



No caso de contaminantes persistentes e móveis, dado não participarem de forma significativa nas reacções de oxidação/redução, não serem alterados por permuta iónica e serem muito estáveis em solução, a zona não saturada apenas retarda o seu movimento, pelo que a diminuição da sua concentração resulta, sobretudo, de mecanismos posteriores de diluição que ocorrem na zona saturada.

O movimento das partículas contaminantes na zona não saturada é predominantemente vertical, em resposta à gravidade, e como resultado das tensões superficiais que se desenvolvem, dado que as partículas do solo estão envolvidas por um filme de água higroscópica. O fluxo de água nesta zona, normalmente é mais lento do que na zona saturada e restringe-se aos poros mais pequenos e com maior superfície específica, caso não se trate de rochas cársticas, nas quais o fluxo de água se faz também pelas fracturas e cavidades, aumentando a velocidade. A fracturação facilita a percolação vertical do contaminante e da água, ao longo das descontinuidades, até ao aquífero. Os solos naturais são relativamente pouco efectivos na retenção de contaminantes.

Ao atingir a zona saturada, o movimento da água apresenta uma componente essencialmente horizontal, deslocando-se das zonas de recarga para as zonas de descarga. Quando os contaminantes entram na zona saturada misturam-se e podem ser transportados pelo fluxo de água subterrânea por advecção e por dispersão hidrodinâmica. A advecção ocorre quando a água em movimento transporta os contaminantes. A dispersão hidrodinâmica é a difusão da água subterrânea e seus constituintes dissolvidos por mistura mecânica (causada pela matriz do aquífero) e difusão (que pode ocorrer em água parada pois é o movimento dos solutos de zonas de maior concentração para zonas de menor concentração).

Os contaminantes transportados pela água subterrânea podem ser reactivos ou conservativos. Os conservativos não reagem com o meio nem com a água e os reactivos têm tendência para adsorver a um meio do aquífero, movendo-se da fase líquida para a fase sólida e, conseqüentemente, a sua velocidade é inferior à do escoamento da água. Adicionalmente, pode ocorrer uma atenuação dos contaminantes, devido à diluição que resulta da dispersão do fluxo, ou ao estabelecimento de reacções químicas com a água.

Quando uma fonte de poluição é contínua, a maior concentração de contaminante ocorre na água subterrânea imediatamente abaixo da fonte. A pluma de contaminação que se forma move-se no sentido do gradiente hidráulico, espalhando-se lentamente pelo aquífero. A forma da pluma depende de vários factores, incluindo a velocidade da água subterrânea, a condutividade hidráulica dos depósitos do aquífero, a forma do nível freático e o tipo de fonte de contaminação (Hudak, 1999).

Os solos têm um papel preponderante no movimento de bactérias e vírus, podendo removê-los antes de alcançarem as águas subterrâneas. A maioria destes encontra-se ligado às partículas do solo e apenas alguns se encontram livres na solução do solo. O seu transporte faz-se através da água que se encontra entre as partículas que o constituem, movimentando-se com mais facilidade em solos saturados. Quanto mais rapidamente a água se movimentar através do solo por unidade de tempo, a maiores distâncias estes serão transportados (Campos, 2007).

As bactérias são organismos procariontes protegidos por membrana citoplasmática e parede celular. A membrana citoplasmática é constituída por lípidos e proteínas sendo algumas destas proteínas responsáveis pelo transporte de electrões, factor importante para a retenção dos microrganismos no solo por adsorção. Algumas têm um papel importante na natureza em processos de decomposição de matéria orgânica, fermentação, fixação do azoto, entre outros, enquanto outras são prejudiciais à saúde pública. Durante o tempo em

que as bactérias estão adsorvidas às partículas do solo ou se movem através deste, há uma série de condições que as podem destruir ou inactivar. No geral, as bactérias sobrevivem melhor a temperaturas baixas, em solo húmido, com reduzida actividade microbiana, em ambiente ligeiramente alcalino e com elevado teor de matéria orgânica. Assim, as bactérias sobrevivem melhor em solos de textura fina que apresentam boa capacidade de reter água.

Os vírus são parasitas, agentes infecciosos, não têm metabolismo independente porque se reproduzem apenas no interior de células hospedeiras vivas que lhes forneçam energia e podem infectar animais, bactérias e plantas. Mais de 100 espécies de vírus podem estar presentes nas fezes humanas. São mais persistentes a temperatura baixa, ambiente húmido e pH ligeiramente alcalino, próximo a neutro. Podem ser inactivados na presença de actividade microbiana e alguns são protegidos pela adsorção, com aumento do tempo de sobrevivência. A adsorção é o maior factor de controlo e retenção de vírus e ocorre com mais frequência em solos argilosos. A maioria dos poliovírus é retida nas camadas superficiais do solo. Os vírus podem-se mover através do solo para as águas subterrâneas com a ajuda da chuva e da inclinação do terreno e podem percorrer distâncias consideráveis no caso de solos arenosos e cascalhos (Matos, 2001).

Os principais mecanismos de deslocação de bactérias através dos poros do solo são a advecção passiva pela água em movimento, a quimiotaxia que consiste no movimento sistemático de alguns microrganismos em direcção a uma região com maior disponibilidade de nutrientes e o movimento browniano que é um mecanismo difusivo que se segue às colisões dos microrganismos com moléculas ou partículas. A adsorção é o principal meio de transporte de vírus no solo, carregados pela água em movimento através dos poros, e a concentração de vírus adsorvidos cresce linearmente com a concentração de partículas em solução.

Tanto para as bactérias como para os vírus, o seu avanço depende da condição de sobrevivência durante o tempo de residência no solo e ambos podem ser considerados como colóides ao atravessar os poros do solo. Como os vírus têm dimensões inferiores às bactérias, seria de esperar, do ponto de vista físico, uma maior facilidade de avanço dos primeiros, o que nem sempre acontece pela maior sensibilidade dos vírus às condições adversas (incluindo necessidade de um hospedeiro para aumentar a capacidade de sobrevivência) e pela capacidade de multiplicação das bactérias. O risco de contaminação por vírus só se torna significativo no caso de aquíferos em rochas fracturadas ou rochas calcárias, em que podem ser transportados rapidamente e alcançar distâncias de dezenas a centenas de metros, ainda activos (Barbosa e Coelho, 2002).

Cada população microbiana é capaz de apresentar uma grande diversidade de reacções químicas características que variam de local para local de acordo com as particularidades do solo que resultam das especificidades do ecossistema em si. Essa população é responsável por certas alterações graduais no solo (pH, temperatura, níveis de nutrientes, por exemplo), mantendo-se o equilíbrio do ecossistema. A quebra do equilíbrio do ecossistema é o que permite aos microrganismos transformar o solo no seu “alimento”. A causa desse desequilíbrio reside no miasma que percola através do solo oferecendo uma fauna “diversa” e em grande quantidade, além de uma enorme quantidade e variedade de matéria orgânica.

Quando os colóides são orgânicos haverá possibilidade dos microrganismos tê-los por nutrientes, comprometendo a estrutura do solo que se altera com o decorrer do tempo, enquanto que em colóides minerais não há acção dos microrganismos resultando num solo de estrutura mais estável (menos favorável à decomposição) (Rocha et al., 2005).

Para pH superior a 7, os minerais e vírus possuem cargas negativas e tendem a repelir-se. Esta electronegatividade é reduzida com a diminuição do pH permitindo uma maior aderência das partículas ao meio. Os vírus possuem carga positiva em pH inferior ao seu ponto isoeléctrico, podendo ser adsorvidos por superfícies de carga negativa, como minerais de argila e matéria orgânica coloidal. Acima do ponto isoeléctrico, os vírus têm carga negativa e podem ser imobilizados por adsorção aniónica. Os vírus possuem cargas negativas para a maioria dos pH encontrados no solo (Matos, 2001).

A imobilização também aumenta com o aumento da concentração de sais e catiões bi e trivalentes. A concentração destes catiões tende a comprimir a espessura da camada de catiões adsorvidos em torno das partículas de argila, permitindo que os vírus se aproximem e que sejam mais fortemente atraídos.

A força iónica da água de infiltração (miasma) influencia a retenção de bactérias devido ao seu efeito na densidade da carga e repulsão electrostática. A presença de camadas orgânicas e de óxidos de ferro também aumentam a retenção de bactérias na superfície dos grãos de areia. Estas camadas podem colapsar durante a putrefacção dos cadáveres (Üçisik e Rushbrook, 1998).

A influência da matéria orgânica traduz-se, nos solos argilosos, por uma melhoria das condições de arejamento e de retenção da água, enquanto que nos solos arenosos favorece a coesão entre as partículas e diminui o tamanho dos poros, aumentando a capacidade de retenção da água. Elevadas quantidades de matéria orgânica podem aumentar o tempo de sobrevivência das bactérias no solo. Pode inclusive verificar-se um aumento populacional quando existe uma quantidade suficiente de matéria orgânica (Rodrigues, 2002). Este ambiente favorável pode ser ampliado pela contaminação difusa por efluentes domésticos. As maiores incidências de microrganismos são encontradas em UC localizadas em centros urbanos ou junto a corpos de água contaminados por efluentes domésticos (Barbosa e Coelho, 2002).

O tempo de sobrevivência aumenta em solos estéreis, uma vez que os protozoários podem consumir elevadas quantidades de bactérias e a produção de substâncias antagonistas (por exemplo, antibióticos) por bactérias e fungos interfere com a sobrevivência das bactérias (Rodrigues, 2002).

O contágio ou não de um indivíduo depende da concentração e persistência do organismo patogénico nas águas subterrâneas e da dose necessária para provocar doença. O tamanho relativamente grande dos helmintos e dos protozoários (maior que 25 µm) resulta numa remoção altamente eficiente através da filtração física do solo, sendo pouco provável que estes poluam os aquíferos. As bactérias e vírus são muito menores e podem ser transportados através da percolação dos efluentes até aos aquíferos (FUNASA, 2007).

O tempo de sobrevivência de alguns microrganismos no solo encontra-se resumido na tabela seguinte.

Tabela 7: Tempo de sobrevivência de alguns microrganismos no solo.

Organismos	Tempo (dias)
<b>Bactérias</b>	
<i>Streptococcus</i>	35 a 63
<i>Salmonella spp</i>	15 a > 280
<i>Mycobacterium spp</i>	10 dias a 15 meses
<i>Leptospira spp</i>	15 a 43
<b>Protozoários</b>	
<i>Entamoeba histolytica</i>	6 a 8
<b>Vermes</b>	
<u>Helminths</u>	(2 a 7) anos
<u>Nematóides</u>	
<i>Ancylostoma spp</i>	15 a 42 (larvas)
<i>Ascaris spp</i>	Até 7 anos
<u>Vírus</u>	
Enterovírus	8 a 12

Adaptado de: (Rocha et al., 2005)

A contaminação química consegue atingir distâncias maiores do que a biológica. Os efeitos mais prováveis de contaminação química por UC são o aumento da concentração de compostos azotados e fósforo, de sais minerais e, consequentemente, da condutividade eléctrica, pH, alcalinidade e dureza da solução no solo. São também libertados compostos orgânicos diversos produzidos na decomposição, degradáveis e que podem aumentar a actividade microbiana no solo.

Os dois principais mecanismos de transporte e migração de espécie químicas através de meios porosos como o solo são a advecção, em que a espécie é arrastada pelo meio em movimento (ar ou água), e a difusão molecular em que a espécie migra do ponto de maior concentração para o de menor concentração.

Os principais mecanismos de retenção e transformação de espécies químicas na matriz do solo são (Barbosa e Coelho, 2002):

- Adsorção pelas partículas de argila, óxidos e hidróxidos livres, matéria orgânica, entre outros.
- Reacções de oxidação/redução, ácido-base, hidrólise, permuta iónica e volatilização.
- Biodegradação pelos microrganismos, no caso de compostos orgânicos.

De um modo geral, as reacções químicas podem ocorrer quer na zona não saturada quer na zona saturada do solo (excepto a volatilização que ocorre apenas nos horizontes mais superficiais do solo), sendo diferentes nos aspectos que se relacionam com as distintas propriedades físicas, químicas e biológicas específicas de ambos os meios. Os factores que determinam os processos na zona não saturada incluem a presença de uma fase gasosa, um ambiente geralmente oxidante, processos biológicos e bioquímicos activos e uma razão elevada entre a área da superfície e o volume de água. Na zona saturada, o meio não está em contacto directo com a atmosfera, pelo que possui características anaeróbias, e a baixa velocidade de escoamento permite um aumento de sólidos dissolvidos à medida que se desloca no meio subterrâneo.

Os poluentes líquidos orgânicos no solo podem ser classificados em dois grupos, dependendo das suas principais interacções com as substâncias húmicas do solo, propriedades físico-químicas (que incluem o pH e a polaridade) e parâmetros de solubilidade. Os compostos do primeiro grupo são hidrófilos, iónicos ou ionizáveis, ácidos ou básicos e compostos polares neutros (por exemplo, álcoois, aldeídos, cetonas, glicóides e alquilo halides). Os do segundo grupo são compostos hidrófobos, não iónicos, fundamentalmente não polares neutros e praticamente imiscíveis na água (por exemplo, solventes orgânicos, alcanos e hidrocarbonetos alifáticos).

As substâncias orgânicas que constituem uma maior ameaça para a qualidade das águas subterrâneas são aquelas que são relativamente solúveis, não voláteis e refractárias (isto é, não são facilmente degradadas por bactérias). O transporte e destino dos poluentes orgânicos, nos meios subterrâneos, podem ser influenciados por diversos mecanismos, que tendem a prevenir ou retardar a migração da maior parte das substâncias orgânicas para as zonas subjacentes. Estes mecanismos incluem a retenção no solo por adsorção, transporte na fase aquosa (hidrólise), reacções de oxidação/redução, precipitação química, degradação química ou biológica por bactérias, retenção biológica por incorporação pelas plantas e pela biomassa microbiana e perda do solo por volatilização.

A importância de cada um destes mecanismos depende, para uma dada situação, das propriedades físicas e químicas do poluente, da quantidade de água que chega ao solo, da espessura e da natureza do solo e do tipo e dimensão das interacções que os poluentes sofrem com os vários componentes que existem em cada fase do solo (Leitão et al., 2006).

Assim, os mecanismos enunciados podem ser pormenorizados do modo seguinte:

- Adsorção/Desadsorção – a adsorção designa o processo pelo qual os poluentes em solução ficam atraídos na superfície da matriz sólida envolvente, e desadsorção o processo pelo qual as espécies previamente adsorvidas, são libertadas para a fase líquida. Os processos de adsorção variam entre completamente reversíveis a totalmente irreversíveis. As argilas, os óxidos e hidróxidos metálicos e a matéria orgânica constituem importantes substratos para a adsorção de diversas espécies dissolvidas.

O grau e a dimensão de adsorção depende da estrutura química dos compostos orgânicos e das características físicas e químicas do solo. Os químicos orgânicos com grandes estruturas moleculares tendem a ser consideravelmente adsorvidos pelo solo.

Diversos estudos sugeriram que os poluentes orgânicos evidenciam uma maior afinidade para com as superfícies orgânicas do que com as superfícies minerais do solo. Deste modo, as águas subterrâneas que estão subjacentes a solos com baixo conteúdo em matéria orgânica são mais vulneráveis à contaminação por poluentes orgânicos.

- Permuta iónica – envolve a permuta entre iões adsorvidos à superfície da matriz sólida e os iões presentes na solução aquosa. Ocorre geralmente quando uma deficiência de carga no adsorvente, pode ser neutralizada mais eficientemente pelos iões em solução do que pelos iões adsorvidos. O substrato sólido geralmente envolvido na troca iónica são as argilas, a matéria orgânica e os óxidos e hidróxidos metálicos (ferro, magnésio e alumínio).

Relativamente ao transporte dos elementos químicos sujeitos a permuta iónica é importante conhecer o grau de adsorção dos iões permutáveis.

Geralmente os solos argilosos e o húmus têm capacidade de permuta mais elevada do que outros solos.

- Precipitação/Dissolução – a circulação das águas subterrâneas entre os materiais porosos ou rochosos com os quais contacta proporciona a sua dissolução parcial. A qualidade final das águas é marcada pela composição mineralógica do solo ou das formações rochosas, pela textura e permeabilidade e pelo tempo de contacto. Assim, a composição natural das águas subterrâneas é fortemente influenciada pela dissolução e também pela dissolução incongruente dos minerais. A dissolução refere-se à completa solubilização de todos os elementos constituintes de um mineral. A dissolução incongruente consiste na solubilização parcial de determinados elementos constituintes de um mineral.

O inverso da dissolução é a precipitação, que ocorre devido a uma alteração das condições do meio (pH, potencial redox, temperatura, massa do elemento químico, etc.) capaz de conduzir ao limite de saturação de um elemento químico na água, acabando este por precipitar.

- Hidrólise/Substituição – a hidrólise é a reacção de um composto com água ou com um ião da água, sendo a substituição a reacção de um composto com um anião. Este tipo de reacção envolve a transformação de poluentes inorgânicos ou orgânicos dissolvidos nas águas subterrâneas. O produto da reacção pode ser aquoso ou sólido, dependendo da solubilidade da substância e do pH da água, e pode ser mais ou menos reactivo do que a espécie original. A hidrólise de metais gera a formação de complexos hidrolisados que mais facilmente podem ser adsorvidos.

A hidrólise dos compostos orgânicos é importante porque funciona mesmo quando a biodegradação não ocorre, produzindo compostos susceptíveis de biodegradação posterior. As reacções de hidrólise constituem importantes reacções que geram produtos com diferentes propriedades físicas e químicas, relativamente aos poluentes originais, modificando a sua mobilidade e comportamento no solo. Pode ser regulada biologicamente ou através de processos abióticos. Para a hidrólise biótica, a biomassa e/ou a concentração de enzimas específicas afectam significativamente estas reacções. Em condições abióticas, os factores ambientais da fase aquosa (como o pH, a temperatura, a matéria orgânica dissolvida, os iões metálicos em solução, o teor de água, etc.), podem ter impacte sobre a taxa de hidrólise.

- Oxidação/redução – as reacções de oxidação/redução ou redox envolvem a transferência de um ou mais electrões entre compostos químicos. A oxidação refere-se à perda de electrões e a redução refere-se ao ganho de electrões. A oxidação e a redução ocorrem em conjunto, isto é, os electrões libertados por um composto têm que ser ganhos por outro. Os protões livres (iões hidrogénio) são frequentemente consumidos nas reacções de redução, aumentando o valor do pH.

Tal como a concentração de protões livres pode ser utilizada para determinar o estado ácido-base do meio (pH), também a concentração de electrões livres ( $e^-$ ) pode ser utilizada para determinar o potencial redox (Eh). Valores elevados de Eh indicam valores baixos da concentração do electrão, favorecendo a existência de espécies oxidadas. Por outro lado, valores baixos de Eh indicam valores elevados da concentração do electrão, que correspondem à existência de espécies reduzidas.

A oxidação de um composto orgânico envolve frequentemente um ganho em oxigénio e a perda de átomos de hidrogénio, e a redução envolve ganho de hidrogénio e perda de oxigénio. As reacções de oxidação/redução afectam significativamente o transporte de poluentes orgânicos e estão muito relacionadas com a actividade microbiológica e com o tipo de substrato disponível para os microrganismos. Dependem igualmente do Eh do solo, ou seja, para que a oxidação ocorra o potencial do solo tem que ser maior do que o dos químicos orgânicos. Destas reacções resulta a síntese de novos químicos orgânicos.

- Biodegradação – inclui a degradação biológica de poluentes maioritariamente orgânicos. A zona não saturada e a zona saturada do solo contêm bactérias que ocorrem de forma natural e são capazes de provocar a biodegradação de compostos orgânicos. Nos primeiros horizontes do solo as condições são mais favoráveis à biodegradação pois o teor de oxigénio e de microrganismos é maior. Os produtos de reacção geralmente não são prejudiciais (por exemplo,  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ ) mas se a mineralização do poluente não ocorre, os produtos intermédios de decaimento que se formam podem ser mais prejudiciais do que os originais.

O processo de biodegradação é influenciado por várias variáveis:

- Macro-nutrientes – a maioria das bactérias necessita de carbono, azoto e fósforo na razão óptima de 25:1:0,5.
- Micro-nutrientes – necessários em pequenas quantidades.
- pH – o horizonte mais superficial do solo é o mais abundante em microrganismos. Aqui o pH deverá ser 7,0, sendo o valor mais favorável para a vida óptima das bactérias compreendido entre 6,0 e 8,0. Normalmente o pH diminui durante a biodegradação devido à produção de ácidos orgânicos intermédios e de  $\text{CO}_2$ . Se o pH baixa para valores inferiores a 6,0 a actividade bacteriana diminui drasticamente.
- Oxigénio – a degradação é mais rápida em solos bem oxigenados.
- Temperatura – abaixo dos 1,8 m é praticamente constante e aproximadamente igual à temperatura média anual da região.
- Teor de humidade do solo – o valor ideal ronda os 50% e pode variar entre 30 e 80%.
- Tipo de poluente orgânico – os poluentes orgânicos mais leves e mais voláteis são degradados mais rapidamente.

Quando se estuda a biodegradação dos compostos orgânicos deve saber-se quais os compostos que são biodegradáveis, em que condições (aeróbias ou anaeróbias) e o tempo que demora este processo.

Um determinado poluente pode ser biodegradado em diversas condições ou pode apenas ser biodegradado numa condição específica. Em diversas condições naturais, e especialmente como resposta do aquífero à contaminação, o oxigénio molecular disponível é esgotado e a biodegradação passa a realizar-se em condições anaeróbias. Nestas condições é necessário um receptor de electrões alternativo (por exemplo, nitratos, sulfatos ou carbonatos).

- Volatilização – a volatilização consiste na perda por difusão para a atmosfera, de compostos químicos sob a forma de vapor, da fase líquida ou da fase sólida

do solo, para a fase gasosa da zona não saturada. A maior parte das substâncias orgânicas são removidas do solo por volatilização, reduzindo significativamente as concentrações disponíveis para a contaminação das águas subterrâneas. Para que este processo de desencadeie tem que estar presente uma fase gasosa, o que não acontece na zona saturada.

A adsorção parece ser o processo mais importante na fixação de metais pesados e na sua retenção em ambiente subterrâneo. A adsorção positiva envolve a atracção dos cationes metálicos existentes na água, por partículas do solo carregadas negativamente.

A permuta iónica trata-se apenas de um mecanismo temporário para a retenção de metais pesados e a sua dimensão pode ser descrita pelo coeficiente de adsorção que nos indica que, quanto maior for o seu valor, mais forte é a capacidade de adsorção. Alguns cationes são mais atraídos por determinado tipo de solo do que outros, dependendo do tamanho da sua molécula, da sua carga e do próprio solo receptor. Contudo esta sequência pode ser afectada pelos efeitos da acção da massa, quando as concentrações dos iões individuais são muito elevadas.

A precipitação ocorre quando o pH das águas se torna mais alcalino favorecendo a reacção dos iões metálicos com a água para formar produtos de reacção, que precipitam como óxidos ou hidróxidos minerais, ou formando um revestimento sob os minerais do solo de óxidos e hidróxidos. É comum a precipitação de metais como hidróxidos, sulfuretos e carbonatos.

A maior parte dos metais pesados são influenciados pelas condições redox, como resultado das alterações no estado de oxidação, quer do metal, quer dos elementos não metálicos com os quais forma complexos. Na zona não saturada, a oxidação pode produzir óxidos relativamente insolúveis que podem controlar a solubilidade de muitos metais. Na zona saturada, as condições anaeróbias podem prevalecer e provocar a mobilização de algumas espécies.

A complexação iónica envolve a formação de complexos solúveis, com carga ou neutros, entre os iões metálicos e os aniões inorgânicos ou orgânicos dissolvidos. Os complexos formados com os metais aumentam a sua mobilidade ao impedirem de serem adsorvidos ou precipitados. Uma característica da maior parte dos metais pesados nas águas subterrâneas consiste na sua tendência para formar espécies hidrolisadas e complexas, através da combinação com aniões inorgânicos ou com substâncias orgânicas. A formação de complexos com cloretos, sulfatos e bicarbonatos aumenta com o aumento da concentração destes aniões na solução. A matéria orgânica possui uma elevada capacidade de permuta cationica, uma vez que tem mais locais de troca disponíveis do que a maioria das argilas. No entanto, apenas fornecem uma retenção temporária dos metais, isto é, se o complexo orgânico for biodegradável, o metal será novamente libertado. Há também que considerar a possibilidade de solubilização de metais associados à fracção coloidal e dissolvida da matéria orgânica (Leitão et al., 2006).





## **16. Saúde de funcionários que manipulam cadáveres e resíduos cemiteriais**

Devido aos agentes biológicos, as doenças profissionais podem atingir os seguintes grupos profissionais: praticantes de medicina (particularmente patologistas), enfermeiros, funcionários de funerárias e de UC, cientistas forenses, preparadores de corpos (embalsamadores, tanatólogos, tanaestéticos, entre outros), membros de equipas de emergência médica, técnicos de anatomia de cadáveres, arqueólogos e trabalhadores da construção civil.

O corpo humano aloja vários organismos mas apenas alguns são patogénicos. Quando morre, o ambiente em que os patogénicos vivem já não os pode sustentar. No entanto, isto não acontece imediatamente e a transmissão de agentes infecciosos do cadáver para uma pessoa viva pode ocorrer. O controlo microbiológico deve incidir sobre todos os possíveis agentes presentes. A verificação sanitária do local de trabalho deve ser feita periodicamente bem como a vigilância do estado de saúde dos trabalhadores (Sousa, 2005).

Um agente biológico de risco pode ser um microrganismo, cultura de células ou endoparasita humano, incluindo os geneticamente modificados, que possa causar qualquer infecção, alergia, toxicidade ou que represente risco para a saúde pública.

Para avaliar a perigosidade de um agente biológico, deve ser considerada a sua natureza (virulência, resistência à inactivação, transmissibilidade, risco de mortandade), a susceptibilidade ou vulnerabilidade do hospedeiro à infecção (fisiologia do hospedeiro, imunidade, estado de saúde, percepção, etc.) e o ambiente físico, estrutural, social e político em que o hospedeiro e o microrganismo se encontram. As interacções entre hospedeiro, microrganismo e ambiente que resultam em doença, são complexas e devem ser estudadas em pormenor. A susceptibilidade do hospedeiro a um agente biológico de risco está relacionada com o estado de saúde do hospedeiro (vacinação, idade, doenças, grau de imunidade, entre outros).

As classes de risco que os microrganismos representam são baseadas no conhecimento da história natural da infecção (baseada em registos históricos), na incidência da infecção na comunidade, na dose necessária para iniciar a infecção (se conhecida), na rota pela qual a infecção pode ser adquirida, na presença de vectores e reservatórios, na quantidade e concentração de microrganismos, na possível produção de aerossóis e sua libertação accidental e na disponibilidade e efectividade de medidas de profilaxia e tratamento.

A natureza do risco associado aos resíduos dos cuidados de saúde pode estar associada a agentes infecciosos, genotoxicidade, químicos ou fármacos tóxicos ou perigosos, radioactividade e objectos pontiagudos. A capacidade de um microrganismo patogénico sobreviver no ambiente é específica a cada espécie e função da sua resistência a características ambientais como a temperatura, humidade, radiação UV, matéria orgânica disponível, presença de predadores, entre outros.

Para que se estabeleça uma contaminação tem que ocorrer uma cadeia de eventos e os esforços de controlo devem basear-se num entendimento claro da transmissão e efeito epidemiológico dos diferentes microrganismos, para que sejam tomadas as medidas mais adequadas para quebrar a cadeia. Então, o controle de infecções pode ser atingido através da eliminação do reservatório, da utilização de equipamento de protecção pessoal e outras medidas preventivas de modo a minimizar a transmissão, da prevenção do estabelecimento

da infecção através de medidas de imunização ou da disposição adequada de resíduos infectados.

Existem algumas medidas de prevenção de carácter genérico, nomeadamente, a redução do risco de exposição a um nível tão baixo quanto possível, limitação ao mínimo o número de trabalhadores expostos, adaptação dos processos de trabalho e das medidas técnicas de controlo para evitar ou minimizar a disseminação dos agentes biológicos, aplicação de medidas de protecção individual e colectiva (caso a exposição não possa ser evitada), aplicação de medidas de higiene compatíveis com os objectivos da prevenção, elaboração de planos de acção em caso de acidente ou emergência (envolvendo agentes biológicos), verificação da presença de agentes biológicos utilizados no trabalho fora do confinamento físico primário (sempre que necessário e tecnicamente possível), utilização de meios de recolha, armazenamento e evacuação de resíduos, após tratamento adequado, incluindo o uso de recipientes seguros e identificáveis, utilização de processos de trabalho que permitam manipular e transportar os agentes biológicos sem risco, entre outras. Novas informações, técnicas e medidas de protecção emergem permanentemente e a susceptibilidade dos trabalhadores em relação a certas infecções também varia ao longo do tempo. É natural que, apesar de o risco de um microrganismo permanecer o mesmo, a percepção social desse risco varie.

Estudos de risco do local de trabalho, disseminação da informação acerca dos deveres e procedimentos que devem ser seguidos pelos trabalhadores, treino, monitorização da exposição, sistemas de vigilância médica, procedimentos e materiais para prevenir a exposição aos agentes biológicos de risco, avaliação e actualização periódica das precauções, manutenção de registos, entre outros, são alguns aspectos essenciais da prevenção (Duse, 2002).

Existem poucos dados acerca do impacte na saúde da exposição a resíduos de cuidados de saúde. Melhores dados iriam permitir melhorias na gestão destes resíduos e a adopção de medidas de protecção. A grande diversidade de resíduos envolvidos e as diversas condições de exposição a estes resíduos são um aspecto problemático para avaliar tanto os riscos como os efeitos da exposição (World Health Organization, 1999).

Os cadáveres representam risco de infecção para as pessoas que os manuseiam. Os principais agentes patogénicos infecciosos que representam riscos incluem *Mycobacterium tuberculosis*, hepatite B e C, HIV e priões. De particular preocupação é o número crescente de estirpes resistentes a várias drogas que se desenvolveram nos últimos anos.

Experiências desenvolvidas com culturas de *M. tuberculosis* provenientes de tecidos pulmonares autopsiados após tamponados com uma solução contendo 10% de formaldeído, demonstraram que o bacilo permanece viável e, consequentemente, infeccioso por 24 a 48 h após o embalsamento do cadáver.

A hepatite viral é causada por infecções por vírus que atacam o fígado em primeiro lugar. Marcadores serológicos específicos de vírus de hepatite B e C foram detectados em tecidos de cadáveres e em testes sanguíneos após a morte e a sua prevalência entre cadáveres revelou-se elevada.

HIV infeccioso foi relatado em fluidos pulmonares, fluidos pericardiais e sangue de pacientes infectados, após armazenamento a 2°C durante 16,5 dias após a morte. Também foi isolado HIV viável de fragmentos de ossos, do baço, cérebro, medula óssea e nódulos linfáticos 6 dias após a morte. Por outro lado, os cadáveres infectados com HIV geralmente também são portadores de outras infecções oportunistas, como a tuberculose, que pode ser mais infecciosa do que o HIV.

A vacinação contra a hepatite B ajuda a prevenir a infecção e tem 70 a 80% de eficácia até uma semana após a exposição. A prévia vacinação contra o BCG (*Bacilo de Calmette e Guérin*) pode proteger contra a tuberculose e o teste da tuberculina pode ser uma medida útil após a exposição.

As encefalopatias espongiformes transmissíveis (TSE) são doenças degenerativas do sistema nervoso central causadas por agentes infecciosos constituídos apenas por proteínas, chamados priões. Os priões são proteínas com capacidade de modificar outras proteínas, tornando-as cópias de si mesma. Todas as doenças supostamente causadas por priões afectam a estrutura do cérebro ou dos tecidos neurais, não possuem cura e são sempre fatais. Estes são mais resistentes à destruição do que qualquer outro patogénico conhecido e não são neutralizados por radiação. Pode ser transmitida por consumo de carnes contaminadas e contacto com material cirúrgico contaminado. Alguns relevam-se infecciosos em cinzas a 360°C.

Apesar do embalsamento reduzir os riscos de infecção, não existe informação adequada acerca das propriedades desinfectantes dos fluidos geralmente utilizados. As soluções mais utilizadas são preparadas a partir de formaldeído, etanol ou fenol. Apesar de as soluções de formaldeído terem elevada capacidade germicida para inactivar micróbios e vírus, não é eficaz para priões. O etanol é muito utilizado para controlar o crescimento bacteriano e fungicida mas não de endosporos, vírus não desenvolvidos ou priões. O fenol tem elevada capacidade contra bactérias, vírus e fungos mas não contra priões.

Assim, os cadáveres devem ser acompanhados por ficheiros detalhados contendo a causa de morte e os registos hospitalares mais relevantes. Todos os cadáveres devem ser tratados como se de material contagioso se tratassem. O risco de quem manuseia os cadáveres ser contaminado por patogénicos do trato respiratório é remoto mas cobrir a cara do cadáver com tecido é uma precaução que se deve ter. Quem lida com os cadáveres deve utilizar protecção adequada para evitar transmissões acidentais. Os materiais que entram em contacto com o cadáver devem ser descontaminados (mesa de autópsia, utensílios, veículos, etc.) e os resíduos eliminados da mesma forma que resíduos hospitalares. Os métodos usuais de esterilização e desinfecção são efectivos para a grande maioria dos agentes infecciosos mas não para priões. Para estes devem ser utilizadas medidas específicas de descontaminação (Demiryürek et al., 2002).

Considerando que algumas das pessoas que, em caso de catástrofe, lidam com os cadáveres podem não ter experiência nesta área, devem ser-lhes dadas algumas instruções básicas acerca dos riscos e das precauções a ter. Devem ser tomadas as precauções universais com sangue e fluidos corporais. Os cadáveres normalmente libertam fezes deixando as pessoas que com eles lidam mais expostas a organismos gastrointestinais do que vírus sanguíneos. Os trabalhadores podem ser expostos por contacto directo com o cadáver ou com as suas roupas. A contaminação de outros equipamentos, como macas ou veículos utilizados para transporte ou armazenamento, também é possível. No entanto, estes organismos não sobrevivem durante muito tempo às condições ambientais e por isso representam pequeno risco de infecção nos casos em que o cadáver se encontra em decomposição à algum tempo ou quando esteve em água.

Um desastre de grande escala pode ultrapassar a capacidade das morgues locais, sendo necessárias medidas de urgência. Não existem guias para estabelecer morgues temporárias, mas geralmente são considerados hangares ou pavilhões e veículos militares. Em todos os casos deve ser designado um local em que sejam retidos os fluidos corporais e químicos resultantes dos exames forenses/patológicos dos cadáveres e do início dos processos de decomposição. Se a drenagem deste local não for satisfatória, deveram ser

fechadas as saídas e deve ser feita a recolha e disposição adequada dos efluentes por especialistas. As preocupações com infecções e com a decomposição dos cadáveres pode levar a uma disposição não planeada dos cadáveres, muitas vezes antes de ser feita a identificação das vítimas. As preocupações com doenças pode também levar a precauções desnecessárias tal como inumar os cadáveres em valas comuns e adicionar cal como substância que, pelo seu grande poder bactericida e germicida, higieniza e desinfecta o local, impedindo a proliferação de microrganismos e odores provenientes dos cadáveres em putrefacção. Na maior parte dos desastres naturais os cadáveres são inumados em massa, dispostos em valas comuns ou cremados devido às pressões sociais e políticas. As inumações em massa devem ser feitas em local que permita uma densidade de 1 urna por 2 m<sup>2</sup>, o que corresponde a 6 vezes a prática usual. A inumação em massa tem graves consequências para a saúde pública pois a identificação dos cadáveres e o processo fúnebre tradicional são fundamentais para a recuperação da população em relação às perdas pessoais e ao stress causado pelo desastre.

Devem ser estabelecidos critérios base que possam ser activados no caso da ocorrência de algum incidente desta natureza. Deve se feita uma revisão rotineira para antecipar o potencial problema de comunicações devido aos movimentos de pessoal em todas as organizações relevantes (Young et al., 1999).

A cremação é mais provável quando os cadáveres não podem ser identificados, sendo todas as cinzas inumadas numa única urna, mas nem sempre é praticável devido à necessidade de equipamento e de grandes quantidades de combustível. A questão da identificação das vítimas também leva a concluir que a inumação é a melhor opção pois permite futuras exumações para correcta identificação. Não se conhecem as características de decomposição e dispersão em valas comuns apesar de pensar que sejam semelhantes às inumações individuais (Goyet, 2004).

## 17. Revisão legislativa

### 17.1. Unidades Cemiteriais

O Regime Liberal marca o início da secularização das UC, através dos Decretos de 21 de Setembro e de 8 de Outubro de 1835 que tornaram obrigatória a construção em todo o território nacional de UC municipais e paroquiais e que proibiram a inumação nas igrejas e capelas. Esta importante providência governativa não teve por toda a parte uma pronta e imediata execução e sobretudo aceitação (Câmara Municipal da Póvoa do Varzim).

Perante os acontecimentos epidémicos aquando da Revolução de Setembro de 1836, foram adoptadas medidas em diversos sectores e actividades da sociedade portuguesa. Com o intuito de se dar resposta global aos problemas da saúde, a 3 de Janeiro de 1837 foi aprovado o Regulamento de Saúde Pública e criado o Conselho de Saúde Pública. As suas principais funções eram inspeccionar as UC públicas, assegurar a sua salubridade e assegurar que todas as inumações são feitas apenas em UC. Foi ainda definido que em cada UC haveria um guarda que tinha que saber ler e escrever para poder preencher o serviço que lhe competia e cabia-lhe, entre outras tarefas, impedir entrada de animais na UC e assegurar que os cadáveres eram inumados devidamente e à profundidade definida pelo Conselho de Saúde (Viegas et al., 2006).

Sob o ponto de vista da construção de UC, as instruções da circular do Ministério do Reino de 16 de Dezembro de 1890 mantiveram-se em vigor até 1962. O seu acerto e valor manifestam-se no facto de terem perdurado ao longo de um período de mais de 70 anos. Estudadas essas instruções reconhece-se que algumas se mantêm ainda actuais apesar da maior parte ter evoluído, como é natural, em consequência da evolução científica e dos conceitos de ordem sanitária (<http://diario.vlex.pt>).

Em 1962, o Decreto 44.220, de 3 de Março, estabeleceu normas para a construção e polícia de UC. Ao redigir o documento, o legislador tem em consideração que as UC se destinam ao processo de decomposição dos cadáveres e também a prestar culto aos falecidos, devendo ser locais de acolhimento dos vivos que lhes prestam esse culto. São apontadas algumas soluções arquitectónicas e paisagísticas que visam a dignificação do local, a garantia de uma necessária tranquilidade e uma eficiente decomposição.

Relativamente à escolha do terreno para UC é importante transcrever os seguintes artigos:

“Art. 2.º Na escolha destes terrenos ter-se-ão em conta os seguintes factores: a) Ser a sua área suficiente para o movimento obituário das populações a servir; b) Terem, de preferência, a forma regular; c) Não ficarem excessivamente afastados das povoações; d) Terem fáceis acessos, existentes ou a construir, por trajectos que evitem as ruas de grande movimento e as estradas nacionais; e) Serem sensivelmente planos ou com declive pouco acentuado; f) Ser o subsolo de natureza permeável em toda a área destinada a enterramentos, convindo os terrenos de natureza calcário-siliciosa, calcário-argilosa, sílico-argilosa e sílico-calcária e devendo rejeitar-se os de natureza humurosa, calcária ou fortemente argilosa, salvo se forem corrigidos com areia, produtos calcários ou outros aconselháveis; g) Terem drenagem natural ou possibilidade de drenagem artificial simples; h) Serem fáceis de escavar, não apresentando rocha, blocos rochosos ou água, até à profundidade de 2 m. §1.º No caso de haver edifícios nas imediações dos terrenos escolhidos, e no caso de a construção do cemitério dar origem a reclamações, deverá deixar-se um intervalo de 10 m que estabeleça a separação, sem que, no entanto, se vede a utilização de tal espaço para quaisquer fins. §2.º No caso de haver nas imediações dos terrenos escolhidos fontes ou cursos de água que possam ser utilizados para abastecimento das populações observar-se-ão os condicionantes aconselhados para tal fim.

Art.3.º Da vistoria lavrar-se-á auto circunstanciado do qual constem, obrigatoriamente, a configuração geométrica, as dimensões, as confrontações, os acessos, a natureza e composição, a topografia e as condições de drenagem e de escavação até 2 m de profundidade do terreno vistoriado e, bem assim, a sua comparação com outros terrenos das redondezas que possam servir para os fins desejados.”

O Decreto 44.220 lista os documentos a apresentar junto com projectos de construção, ampliação ou remodelação de UC.

“Art. 6.º Os projectos para a construção, ampliação ou remodelação de cemitérios incluirão as seguintes peças: a) Memória descritiva e justificativa, indicando o esquema funcional do cemitério, de harmonia com o disposto nos Art. 7.º a 20.º; b) Estimativa de custo; c) Planta de localização em escala não inferior a 1/1000, compreendendo uma faixa de terreno envolvente, de largura não inferior a 100 m; d) Planta geral, em escala não inferior a 1/200, com indicação dos talhões, arruamentos, escadas ou rampas, tipos de sepulturas e vedação; se o cemitério os compreender, indicação, também, da posição dos jazigos, ossários, capela e outras construções e das zonas verdes. No caso de se tratar de cemitérios de grandes centros populacionais a escala em que se desenhará a planta poderá ser de 1/500; e) Perfis ortogonais do terreno, em escala de comprimentos não inferior a 1/200 e de alturas não inferior a 1/50, com indicação da rasante e das cotas de trabalho. Também, no caso de se tratar de grandes centros populacionais, a escala de comprimentos dos perfis pode reduzir-se a 1/500; f) Alçado principal, incluindo portão de entrada, em escala não inferior a 1/200; g) Perfis transversais – tipo dos arruamentos na escala de 1/50. § Único. No caso de para a obra ser pedida a comparticipação do Estado devem também constar do projecto mais os seguintes elementos: a) Mapa de medições, séries de preços e orçamento; b) Programa de concurso para realização da obra por empreitada e respectivo caderno de encargos; c) Pormenores do tipo de vedação e da entrada principal em escalas não inferiores, respectivamente, a 1/100 e 1/50; d) Plantas e alçados dos edifícios previstos, na escala de 1/100; e) Planta parcelar das zonas a expropriar, em escala não inferior a 1/200 (ou 1/500 nos grandes cemitérios), com a relação dos nomes dos proprietários e as áreas das parcelas a expropriar a cada um e dos valores que se lhes atribui.”

O Decreto sugere ainda que se plantem árvores, arbustos e espécies herbáceas na UC e proíbe os caixões de chumbo, zinco e madeiras muito densas ou nos quais tenham sido aplicadas tintas e vernizes não biodegradáveis e que consequentemente atrasem o processo de decomposição. O período legal de inumação é de 5 anos e só após este período se podem abrir as sepulturas. No caso de as partes moles do cadáver ainda não estarem totalmente consumidas, este deve manter-se inumado por períodos sucessivos de 5 anos até à sua decomposição completa.

Em 1964, o Decreto 45864, de 12 de Agosto, introduziu-lhe pequenas alterações.

O Decreto n.º 48770, de 18 de Dezembro de 1968, apresenta um Modelo de Regulamento dos Cemitérios Municipais a partir do qual devem ser elaborados Regulamentos para todas as UC. Determina ainda que deve ser colocada cal no interior dos caixões em quantidade correspondente ao tipo de material de que é feito, para acelerar a decomposição.

O Decreto-Lei (DL) n.º 274/82, de 14 de Julho e alterado pelo DL n.º 411/98, de 30 de Dezembro, estabelece o regime jurídico da remoção, transporte, inumação, exumação, transladação e cremação de cadáveres, de cidadãos nacionais ou estrangeiros, bem como alguns actos relativos a ossadas, cinzas, fetos mortos e peças anatómicas, e de mudança de localização de UC. Consagra-se a possibilidade de os cadáveres serem inumados em local de decomposição aeróbia e proíbe-se o recurso a caixões de chumbo, adoptando-se exclusivamente a folha de zinco para a construção de caixões metálicos. O prazo mínimo de inumação é reduzido para 3 anos apenas devido à saturação das UC, ou seja, sem ter em conta as condições climáticas invernosas de longa duração frequentes em muitas regiões.

Segundo a legislação em vigor, as dimensões mínimas das sepulturas para inumação de adultos no solo são:

- Largura da sepultura: 65 cm;
- Distância entre sepulturas (todos os lados): 40 cm;
- Comprimento da sepultura: 200 cm;
- Profundidade: 115 cm.

Para crianças, as dimensões mínimas são:

- Largura da sepultura: 55 cm;
- Distância entre sepulturas (todos os lados): 40 cm;
- Comprimento da sepultura: 100 cm;
- Profundidade: 100 cm.

O DL n.º 5/2000, de 29 de Janeiro, introduziu algumas alterações aos princípios orientadores da actividade da Administração. As falhas na redacção deste documento legal foram emendadas pelo DL n.º 138/2000, de 13 de Julho, para evitar dificuldades de interpretação e procedimentos indevidos.

A Lei n.º 5-A/2002, de 11 de Janeiro, define as competências dos órgãos autárquicos relativamente a UC.

As UC possuem um índice evidente de utilidade pública (satisfação de uma necessidade colectiva) sendo por isso legítimo considerar que pertencem ao domínio público das pessoas de direito público, ou seja, Municípios e Freguesias. Assim, são da competência da Junta de Freguesia as UC propriedade da freguesia e são propriedade da Câmara Municipal as UC propriedade municipal. Cabe-lhes gerir, conservar e promover a limpeza das UC, declarar prescritos a os jazigos, mausolés, sepulturas perpétuas ou outras obras, quando não sejam conhecidos os proprietários ou relativamente aos quais se mostre que se mantém o desinteresse na sua conservação e manutenção e ainda conceder terrenos, nas UC, para construção de jazigos, mausolés e sepulturas perpétuas.

Uma consequência da integração das UC no domínio público é que não poderão ser objecto de direitos privados. É incorrecto supor que um particular adquira por compra uma parcela numa UC para nela construir um jazigo ou sepultura perpétua. Nestes casos, o que acontece é uma concessão de utilização ou aproveitamento do domínio público. A cedência do terreno é uma concessão do uso exclusivo duma parcela da coisa pública que o legislador não limitou no tempo e se sente obrigado a manter no caso de desafecção da UC e construção de um novo em local diferente, onde o concessionário terá direito a uma parcela igual para o mesmo fim. Se fosse um direito real, a autarquia poderia expropriar o terreno e o direito sobre a parcela de terreno cessava. A circunstância de não existir um direito real privado permite à Administração regular o uso de todas as concessões de sepulturas quer sejam temporárias ou perpétuas, quando esse uso se mostre inadequado ao interesse público e ao fim a que a UC se destina. À Administração caberá sempre aperfeiçoar o serviço público de acordo com a sua finalidade específica, sendo legítimo alterar as condições de utilização, uma vez que o interesse público o exija.

A Lista Europeia de Resíduos (LER), publicada na Portaria 209/2004, de 3 de Março, é uma lista harmonizada de resíduos, a ser examinada e revista periodicamente à luz dos novos conhecimentos e dos resultados da investigação. Deve ser salvaguardado que o facto de um determinado material não estar incluído numa lista não significa que o mesmo não constitua um resíduo em todas as situações. Nesta lista são identificados os resíduos considerados perigosos, de acordo com o disposto na Directiva 91/689/CE, do conselho, de 12 de Dezembro. Os resíduos de UC deverão ser classificados de acordo com esta lista a fim de ser dado o destino mais adequado, sem comprometer o ambiente e a saúde pública.

Os resíduos cemiteriais provenientes das inumações e exumações, da lavagem de ossadas e sala de autópsias (quando existe) devem ser eliminados de acordo com o disposto no Despacho n.º 242/96, de 15 de Julho, para resíduos sólidos hospitalares do grupo III, ou



seja, resíduos contaminados ou suspeitos de contaminação, susceptíveis de incineração ou outro pré-tratamento eficaz, permitindo posterior eliminação como resíduo urbano (Russo, 2003).

A inumação ou cremação são actos impostos pelo Estado e, porque todos temos esse destino, entendeu isentar de custos todo o procedimento burocrático inerente ao fenómeno “morte” e prévio à cerimónia fúnebre propriamente dita. Assim, a verificação do óbito está isenta de custos, assim como a emissão do correspondente certificado de óbito, as eventuais autópsias e ainda o processo de averbamento do óbito junto das conservatórias do registo civil. Inexplicavelmente, e salvo raras excepções a nível nacional, depois do cidadão morrer ainda paga taxas junto de Câmaras Municipais e Juntas de Freguesia para ser inumado ou cremado, em completa contradição perante manifesta necessidade de dignidade e respeito pelo ser humano. Acresce a isto que não existe um valor único aplicado a nível nacional, o que faz com que não haja um tratamento igual para todos os cidadãos. Uns pagam mais que outros e o valor não é aferido pelo valor dos seus rendimentos. É necessária atenção da autoridade nacional para esta questão (Jornal de Notícias, 2009).

## **17.2. Recursos Hídricos Subterrâneos**

Relativamente a águas subterrâneas há a referir o DL n.º 236/98, de 1 de Agosto, que estabelece normas, critérios e objectivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos. Neste documento legal são atribuídos valores máximos aceitáveis e valores máximos recomendados para diversos contaminantes das águas, de acordo com o uso.

Numa perspectiva de protecção dos recursos hídricos, que, sendo um componente fundamental do ambiente biofísico, são indispensáveis ao desenvolvimento da sociedade, é fundamental actuar preventivamente sobre as principais fontes de poluição e exercer uma vigilância activa dos meios receptores, de forma que não acarrete aumento de poluição por essas substâncias noutros meios. Nesse sentido, o DL n.º 56/99, de 26 de Fevereiro, transpõe para o direito interno a Directiva 86/280/CEE, do conselho, de 12 de Junho, com as alterações introduzidas pela Directiva 88/347/CEE, de 16 de Junho, relativa aos valores limite e aos objectivos de qualidade para a descarga de certas substâncias perigosas no meio hídrico.

O DL n.º 382/99, de 22 de Setembro, estabelece as normas e critérios para delimitação de perímetros de protecção de captações de águas subterrâneas destinadas ao abastecimento público com a finalidade de proteger a qualidade das mesmas. O perímetro de protecção é a área contígua à captação na qual se interditam ou condicionam as instalações e actividades susceptíveis de poluírem as águas subterrâneas e a sua delimitação obedece a critérios geológicos, hidrogeológicos e económicos. Segundo o seu Art. 6.º, fica interdita qualquer actividade na zona de protecção imediata. Nas zonas de protecção intermédia e alargada, as UC só são interditas se for demonstrado que são susceptíveis de poluir as águas subterrâneas.

O DL n.º 194/2000, de 21 de Agosto, transpõe para o direito nacional a Directiva n.º 96/61/CE (Directiva IPPC), relativa à prevenção e controlo integrados da poluição. Este documento institui a licença ambiental que é uma decisão escrita que estabelece as medidas destinadas a evitar ou, se tal não for possível, a reduzir as emissões para o ar, água e solo, a produção de resíduos e poluição sonora, visando garantir a prevenção e o controlo integrados da poluição proveniente de determinadas instalações. Institui também o

conceito de “melhores técnicas disponíveis” para alcançar um nível geral elevado de protecção ambiental. No entanto, as UC não se incluem nestas listas.

A Directiva 2000/60/CE, do Parlamento Europeu do Conselho, de 23 de Outubro, estabelece um Quadro de Acção Comunitária no Domínio da Política da Água, conhecida como Directiva-Quadro da Água (DQA), cujo objectivo é estabelecer um enquadramento para a protecção das águas de superfície, de transição, costeiras e subterrâneas que evite a degradação, proteja e melhore o estado dos ecossistemas aquáticos e terrestres associados, promova o consumo de água sustentável e reforce a protecção do ambiente aquático através da redução gradual de descargas, das emissões e perdas de substâncias prioritárias. Relativamente às águas subterrâneas, pretende assegurar que os Estados-Membros tomarão as medidas necessárias a fim de evitar ou limitar a descarga de poluentes nas águas subterrâneas, protegerão, melhorarão e reconstruirão todas as massas de água subterrâneas, garantindo o equilíbrio entre as captações e as recargas e aplicarão as medidas necessárias para inverter quaisquer tendências significativas persistentes para o aumento da concentração de poluentes que resulte no impacte da actividade humana, por forma a reduzir gradualmente a poluição das águas subterrâneas. Realça ainda a necessidade de elaborar um programa de monitorização do estado das águas, de forma a permitir uma análise coerente e exaustiva dos estados das águas em casa região hidrográfica. É pretendido que os Estados-Membros adoptem medidas específicas contra a poluição da água por poluentes ou grupos de poluentes que apresentem um risco significativo e a prioridade das substâncias para efeito da tomada de medidas será estabelecida com base no risco que representam para o meio aquático.

A Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro, enquadrando a gestão sustentável das águas superficiais e subterrâneas e transpôs para o direito interno um conjunto de normas essenciais da DQA. O legislador optou por não transpor integralmente a Directiva, determinando que um conjunto de normas comunitárias de natureza essencialmente técnica e de carácter transitório seria mais adequadamente transposto mediante um DL complementar. Assim, o DL n.º 77/2006, de 30 de Março, complementa a transposição da DQA.

O DL n.º 226-A/2007, de 31 de Maio, legisla a regularização dos títulos de utilização de recursos hídricos aplica-se a furos, poços e outras captações de água, fossas sépticas e outras rejeições de águas residuais, construções, aterros ou escavações no domínio hídrico, entre outros. A entrega do requerimento tem que ser acompanhada de cartografia de enquadramento e localização. Prevê ainda a criação do Sistema Nacional de Informação de Títulos de Utilização dos Recursos Hídricos, gerido pelo INAG que permitirá melhorar a administração da água através de um inventário permanentemente actualizado.

O DL n.º 208/2008, de 28 de Outubro, estabelece o regime de protecção das águas subterrâneas contra a poluição e deterioração, transpondo para a ordem jurídica interna a Directiva 2006/118/CE, do Parlamento Europeu do Conselho, de 12 de Dezembro, que estabelece medidas específicas no âmbito da DQA. São estabelecidos critérios para a avaliação do bom estado químico das águas subterrâneas e para a identificação e inversão de tendências significativas e persistentes para o aumento das concentrações de poluentes e para a definição dos pontos de partida para a inversão dessas tendências.

A captação de águas subterrâneas constitui um recurso expedito para ultrapassar as situações de escassez de água, pelo que o Governo, através do DL n.º 131/2005, de 16 de Agosto, pretende criar um procedimento agilizado de atribuição das licenças que permitam a sua pesquisa e captação sem, no entanto, deixar de garantir a sustentabilidade dos

recursos aquíferos subterrâneos e agilizar, de igual forma, o procedimento de atribuição das respectivas licenças de captação e produção de água para consumo humano.

Parece legítimo que as UC façam parte da lista de fontes potenciais de poluição das águas subterrâneas, devendo ser feita a monitorização dos lixiviados que poderão entrar em contacto com as águas subterrâneas.

Relativamente aos diplomas referentes ao meio hídrico, verificam-se situações de insuficiência de cumprimento devido principalmente à ausência de meios humanos e materiais, de uniformidade na interpretação e aplicação e de coordenação entre as diversas instâncias envolvidas.

### **17.3. Segurança, Higiene e Saúde no Trabalho**

O DL n.º 441/91, de 14 de Novembro, contém os princípios que visam promover a segurança, higiene e saúde no trabalho e tem como princípios gerais o direito de todos os trabalhadores à prestação de trabalho, promoção da humanização do trabalho e prevenção dos riscos profissionais segundo princípios, normas e programas que visem a segurança, higiene e protecção da saúde. Estes princípios gerais são desenvolvidos através de legislação complementar aplicável em diversos sectores de actividade económica e resultante da transposição para o direito interno das Directivas Comunitárias.

O DL n.º 26/94, de 1 de Fevereiro, a Lei n.º 7/95, de 29 de Março, e o DL n.º 109/2000, de 30 de Junho, estabelecem algumas alterações ao regime de organização e funcionamento das actividades de segurança, higiene e saúde no trabalho previsto no DL n.º 441/91.

O DL n.º 84/97, de 16 de Abril, estabelece as regras de protecção dos trabalhadores contra os riscos de exposição a agentes biológicos durante o trabalho, transpondo para o direito interno as Directivas n.ºs 90/679/CEE, do Conselho, de 26 de Novembro, 93/88/CEE, do Conselho, de 12 de Outubro, e 95/30/CE, da Comissão, de 30 de Junho. Este diploma baseia a protecção dos trabalhadores na avaliação dos riscos de exposição a agentes biológicos, para identificar os agentes causadores de risco, a possibilidade da sua propagação na colectividade e o tempo de exposição efectiva ou potencial dos trabalhadores. Refere que deve ser feita a vigilância da saúde dos trabalhadores, bem como a vacinação no caso de esta existir.

A classificação dos agentes biológicos prevista pelo DL n.º 84/97 foi aprovada pela Portaria n.º 405/98, de 11 de Julho. Considerando que não foram adoptadas as alterações técnicas referentes a novos agentes biológicos constantes da Directiva 97/59/CE, da Comissão, de 7 de Outubro (relativa ao reforço das medidas de protecção dos trabalhadores), a Portaria n.º 1035/98, de 15 de Dezembro, procede à revisão da lista de agentes biológicos e inclui algumas indicações técnicas sobre a susceptibilidade do agente biológico causar reacções alérgicas ou tóxicas, a existência de vacinas ou a oportunidade de conservar por mais de 10 anos a lista dos trabalhadores a ele expostos.

Os trabalhadores que manipulam cadáveres humanos não são directamente incluídos na lista indicativa de actividades. No entanto, faz todo o sentido aplicar esta legislação aos mesmos.

A Directiva 2000/54/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 18 de Setembro, relativa à protecção dos trabalhadores contra riscos ligados à exposição a agentes biológicos do trabalho, tem como principal objectivo clarificar a Directiva 90/679/CEE que foi alterada várias vezes e de modo substancial. No entanto, não foi ainda transposta para o direito nacional. A lista e a classificação de agentes biológicos devem ser

regularmente analisadas e revistas com base em novos dados científicos, bem como as medidas de segurança e protecção dos trabalhadores.

O Decreto Regulamentar n.º 6/2001, de 5 de Maio, apresenta uma lista de doenças profissionais subdividida nas seguintes categorias: doenças provocadas por agentes químicos, doenças do aparelho respiratório, doenças cutâneas, doenças provocadas por agentes físicos, doenças infecciosas e parasitárias, tumores e manifestações alérgicas das mucosas. Dentro da categoria das doenças infecciosas e parasitárias encontram-se as doenças causadas por bactérias (e agentes equiparados), vírus, parasitas, fungos e ainda agentes biológicos causadores de doenças tropicais. Esta é a categoria de maior interesse para os trabalhadores que lidam com cadáveres.

O DL n.º 29/2002, de 14 de Fevereiro, cria o Programa de Adaptação dos Serviços de Segurança, Higiene e Saúde no Trabalho previsto pelo DL n.º 26/94. Os objectivos do Programa são melhorar gradualmente a qualidade dos serviços de segurança, higiene e saúde no trabalho que são assegurados aos trabalhadores, promover a organização e o funcionamento desses serviços pelas entidades abrangidas pelo DL n.º 26/94, assegurar as condições materiais e humanas para que os processos de adaptação das empresas a padrões elevados de qualidade dos respectivos serviços de segurança, higiene e saúde no trabalho se desenvolvam de forma célere e sustentada, promover a contratação e formação de técnicos superiores e técnicos nesta área e incrementar a oferta e a procura de profissões relacionadas com estes serviços.

A Resolução do Conselho de Ministros n.º 105/2004, de 22 de Julho, aprova o Plano Nacional de Acção de Prevenção (PNAP) que foi concebido como um instrumento de política global de prevenção de riscos profissionais e combate à sinistralidade.

Em suma, a legislação portuguesa abrange aspectos fundamentais para o correcto funcionamento das UC mas parece falhar na sua abrangência.

#### **17.4. Normas Portuguesas**

A Norma Portuguesa NP EN 15.017 2007 define os requisitos para a prestação de serviços funerários mas não abrange os requisitos de saúde nem de segurança. Segundo esta Norma, todos os cadáveres terão de ser desinfectados e conservados antes de serem inumados, sendo a tanatopraxia o sentido em que o sector deve evoluir. Indica também que as urnas devem ser ecológicas, facilitando a decomposição e evitando a saturação dos solos, os vernizes devem ser aquosos e não se deve usar qualquer tipo de metal (pregos, parafusos, etc.) mas sim colas igualmente aquosas. Os tecidos usados no interior da urna devem ser de fibras naturais e as matérias-primas utilizadas nos acessórios devem ser ecológicas ou então amovíveis. A Norma aposta também na formação e profissionalização dos funcionários do sector no sentido de os orientar nos procedimentos que devem ser seguidos na preparação do cadáver e melhorar um conjunto de boas práticas. Esta Norma deverá ser aplicada a todas as empresas funerárias, independentemente da sua dimensão, e deve adaptar-se às diversas condições sociais, culturais e geográficas. Actualmente existe uma preocupação dos intervenientes no sector em atingir e demonstrar um desempenho ambiental sólido através do controle dos impactes da sua actividade no ambiente, designadamente na contaminação dos solos e dos lençóis freáticos em consequência da cada vez maior saturação dos solos cemiteriais devido aos materiais utilizados nas inumações.

O projecto de Norma Portuguesa prNP EN 4474-1 2007 estabelece a tipologia e as características das urnas funerárias de modo a facilitar a compreensão e comunicação dos vários intervenientes no sector.

Há já casos de UC que procuram certificação ambiental, através da NP EN ISO 14.001:2004 ou do EMAS II. Um Sistema de Gestão Ambiental baseado na NP EN ISO 14.001:2004 é uma ferramenta de gestão para controlar o impacte das actividades no ambiente que permite a melhoria contínua da empresa através da optimização dos processos e redução dos custos. As principais vantagens em adquirir certificação ambiental são a melhoria da imagem da empresa, a redução dos custos, a optimização dos processos, a melhoria da gestão da empresa, o maior controlo das actividades da empresa, métodos de trabalho mais amigos do ambiente, instalação progressiva de medidas de prevenção, controlo e medição da poluição e a demonstração aos clientes e à sociedade a preocupação com o ambiente (bom instrumento de marketing).

Além destas, existem outras Normas aplicáveis à gestão cemiterial. Uma implementação integrada das principais normas permite a diminuição dos custos de implementação individual, redução do tempo de certificação, menor custo de manutenção do sistema, melhor prestação de serviços com aumento da satisfação dos clientes, minimizar os impactes ambientais, entre outros.

## 18. Análise de estudos de caso com impactes ambientais negativos

Na década de 1970, higienistas franceses constataram epidemias de febre tifóide em comunidades que se abasteciam de aquíferos e nascentes localizados nas proximidades de UC. Em Paris, a UC Saints Innocents recebia cadáveres já há oito séculos quando foi acusado pelos higienistas de liberar vapores insalubres. Les Innocents foi encerrado em 1780 e, 5 anos mais tarde, foi desmontado. As UC foram então banidas do centro de Paris e as existentes foram substituídas por outras nos arredores. Entre elas encontram-se a de Montmartre, Père-Lachaise e Montparnasse que, em 1864, foram condenadas por estarem a contaminar as águas subterrâneas. Era comum captar águas subterrâneas com mau odor e sabor adocicado nas proximidades de UC, em especial nas épocas quentes (Magela, 2008).

Durante o período de 1863 a 1867, um surto de febre tifóide em Berlim e algumas epidemias na Alemanha Ocidental foram associados à contaminação de águas subterrâneas para consumo, por UC.

Actualmente, a África do Sul tem a contaminação de águas subterrâneas por UC associadas a algumas epidemias e doenças na população. Para reduzir o risco, existem projectos de deslocação e monitorização das águas subterrâneas.

Os primeiros estudos com o intuito de provar cientificamente o risco que as UC representam para a qualidade da água subterrânea foram realizados no início da década de 1980, no Brasil.

Em 1985, foram realizados estudos de infiltração na Califórnia que constataram que em solos areno-argilosos, a percolação de águas permitiu o transporte de níveis potencialmente perigosos de bactérias para a profundidade de 1,5 m. Outros estudos constataram que o aumento da distância às sepulturas diminui a concentração de bactérias (Campos, 2007).

Em 1970 foi aberto um concurso para arquitectos em que foi exigido o projecto para uma UC tipo parque com 40% de áreas de enterramentos, 30% de área verde e 30% de áreas de trânsito e infra-estruturas. A superfície tem cerca de 60.000 m<sup>2</sup> e o primeiro talhão a construir tem 21.000 m<sup>2</sup>. O edifício da administração, com uma morgue, deve estar situado perto da entrada da UC e a capela deve estar separada deste, no centro da UC. Esta disposição tem como finalidade conseguir que o movimento puramente administrativo seja separado, na medida do possível, das funções cemiteriais que se realizam na capela. Além disso, exigiu-se do projecto que houvesse um bom aproveitamento dos espaços com boas possibilidades de orientação. A UC terá protecção contra o barulho da auto-estrada que passa a norte e contra a linha de eléctricos que passa a sul, ficando ao critério dos projectistas alterar as características topográficas do terreno. Para as zonas verdes foi exigida a apresentação de propostas de plantação.

O projecto vencedor é composto por áreas de ocupação, talhões de sepulturas pequenos e assimétricos, cercados de arbustos e árvores, que englobam 5 a 7 filas de campas e um núcleo de parque no centro. Este núcleo de parque pode servir como jardim para a população local. Através de aterros ao longo da auto-estrada e das estradas que o cercam, bem como do vale do centro, o terreno, anteriormente plano, fica com movimento. Só se fez modelação paisagística em terreno que não ia ser ocupado, nomeadamente, elevações de terra para protecção contra os ruídos do exterior, colinas ao longo do caminho circular interior para resguardar dos talhões de sepulturas, elevação do local da construção da capela e escavação de um lago. A circular interior é acompanhada de montes plantados para protecção da vista e contra ruídos. Os caminhos e espaços são demarcados com

árvores e arbustos. A UC tem um sistema de 4 caminhos e os locais de descanso que ficam são marcados por muros de pedra natural e têm pérgolas de madeira natural e fontes artisticamente decoradas. A ligação entre a morgue e a capela é feita com uma sucessão de espaços apoiados por muros de pedra natural que seguram o terreno modelado (Conselho Alemão de Municípios, 1968).

Tabela 8: Análise de Estudos de Caso com Impactes Ambientais Negativos I

Autor	Local	Ano	Características locais	Tipo de análise	Resultados
Van Haaren	Holanda	1951		Análise ao solo.	Pluma salina com condutividade eléctrica de 2.300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ abaixo das sepulturas, associada a concentrações elevadas de iões de cloreto, sulfato e bicarbonato.
Schrops	Alemanha	1972	Terrenos de aluvião não consolidados.	Análise ao solo.	Elevada concentração de bactérias, iões de amónio ( $\text{NH}_4^+$ ) e nitrato. A pluma de poluição diminui rapidamente com a distância às sepulturas.
Migliorini	Estados Unidos da América (EUA)	1991		Análise às águas subterrâneas.	Vestígios de arsénio associados à lixiviação de sepulturas.
Martins <i>et al.</i>	São Paulo e Santos, Brasil	1991	A UCVF há predomínio de sedimentos terciários com alternância de solos argilosos e areno-argilosos.	Análise microbiológica das águas subterrâneas.	O NF encontra-se entre 4,0 e 12,0 m, caracterizando um aquífero suspenso. Níveis baixos de CT, EF, CSR, BP, BH aeróbias e BH anaeróbias e BL. Não foi detectado nitrato. O solo é um bom filtro natural. As condições sanitárias e higiénicas não são satisfatórias.
			A UCVNC localiza-se em terreno arenosos, com alguns níveis mais argilosos.		O NF varia entre 4,0 e 9,0 m de profundidade, caracterizando um aquífero suspenso. Foram encontradas BH anaeróbias. Presença de EF e CSR. Nitrato presente em baixa concentração devido às condições anaeróbias. As condições sanitárias e higiénicas não são satisfatórias.
			Na UCAB predominam os sedimentos quaternários marinhos arenosos, de alta porosidade e permeabilidade.		A área é plana e o nível freático encontra-se entre 0,6 e 2,2 m de profundidade, sendo influenciado pelo regime de marés. Estão presentes BH aeróbias. Presença de EF, CSR e nitrato. As condições sanitárias e higiénicas não são satisfatórias.
Vass <i>et al.</i>	EUA	1992		Iões em solução no solo.	Concentrações estáveis e reprodutíveis, de indivíduo para indivíduo, dos iões de sódio, cloreto, azoto amoniacal, potássio, cálcio, magnésio e sulfatos. Ao fim de 18 a 24 meses de decomposição, a maioria destes iões regressou aos níveis iniciais, à excepção dos sulfatos e cálcio, cuja concentração se manteve elevada passados 4 anos.



Tabela 9: Análise de Estudos de Caso com Impactes Ambientais Negativos II

Autor	Local	Ano	Características locais	Tipo de análise	Resultados
Boyd Dent	Austrália	1995			Aumento da CE em locais próximos a sepulturas recentes, com plumas salinas de elevadas concentrações dos iões cloreto, nitrato, nitrito, azoto amoniacal, ortofosfato, ferro, sódio, potássio e magnésio no subsolo. As concentrações de cloreto e a salinidade decrescem com a distância às sepulturas. Não foram detectadas concentrações significativas de patogénicos, excepto <i>Pseudomonas aeruginosa</i> .
Marinho	Fortaleza, Brasil	1998	Envoltente densamente povoada. Areia média com elevada permeabilidade.	Hidroquímica e microbiológica à água subterrânea.	A jusante da UC a concentração de SST e compostos azotados aumentou e estavam presentes bactérias patogénicas decompositoras de matéria orgânica mas não especificamente de cadáveres. As águas analisadas foram classificadas como impróprias para consumo humano.
Spongberg <i>et al.</i>	Ohio, EUA	2000	Solo de granulometria fina, permeabilidade moderada, escoamento superficial do solo baixo e teor de matéria orgânica moderado. Na UC estão registadas 14.610 inumações.	Análises químicas ao solo.	Um pequeno rio que atravessa a UC formou um pequeno vale que fica inundado frequentemente. O NF mais superficial está entre 0,3 e 0,9 m, durante extensos períodos húmidos. Os metais associados às práticas funerárias encontram-se em elevada concentração. A concentração de solventes orgânicos extraíveis da matéria orgânica está relacionada com a proximidade às sepulturas.
Serra	Lisboa, Portugal	2000	Os afloramentos hidrológicos não apresentam interesse como aquífero devido à posição em escarpa e natureza argilosa.	Qualidade bacteriológica do solo.	As amostras foram recolhidas em pontos de diferentes níveis de cota para permitir a comparação pela disposição gradual em taludes e verificou-se um aumento gradual nos valores de contaminação, por BH totais, CF e CT, à medida que a cota diminui.

Tabela 10: Análise de Estudos de Caso com Impactes Ambientais Negativos III

Autor	Local	Ano	Características locais	Tipo de análise	Resultados
Matos	São Paulo, Brasil	2001	360.000 m <sup>2</sup> em que predominam as inumações e existe columbário subterrâneo. Até 6 m de profundidade o solo tem cerca de 43 % de argila, pH=5,0, teor de matéria orgânica entre 0,7 e 4,2 % e capacidade de permuta cationica entre 10,2 e 109,0 mmoleculas/kg. A fracção de argila é constituída principalmente por caulinita e óxidos de ferro e alumínio. A altitude varia entre 745 e 781 m e o declive entre 12 e 15 %. O clima é temperado com temperatura média anual de 25 °C, precipitação de 1.400 mm/ano e evaporação potencial entre 1.000 e 1.300 mm/ano.	Simulação laboratorial do transporte de vírus através do solo da UC. Sondagens geofísicas, geológicas, condutivida de hidráulica do meio e amostragem de água subterrânea.	5,6 % dos cadáveres foram vítimas de HIV ou doenças infecciosas ou parasitárias. A água a montante da UC é bicarbonatada cálcica e sódica, de boa qualidade. A envolvente é densamente povoada e os efluentes domésticos são lançados num riacho que atravessa a UC e que apresenta elevadas concentrações de CT e CF. A chuva da região tem carácter ácido com elevada concentração de sulfato, nitrato e cloreto. O colifago T4 é mais estável com pH neutro e em meio ácido a sobrevivência é menor. O solo retém mais vírus do que químicos. Foram encontradas camadas mais condutivas que se associam a material argiloso que forma aquíferos suspensos, os quais se associam à libertação de miasma para a superfície durante a época de maior pluviosidade. A água próxima da superfície tem maior CE devido à maior contaminação por sais minerais. Os valores de magnésio, chumbo e alumínio estão acima dos VMA. O pH da água diminui com o aumento da profundidade. Estavam presentes BH, BP e CSR. Contaminação em zonas mais afastadas foi associada à saponificação. Também foram encontrados enterovírus e adenovírus. As principais fontes de contaminação são as sepulturas com menos de 1 ano localizadas nas cotas mais baixas, próximas do lençol freático. Há grande consumo de oxigénio na água, elevada concentração dos iões bicarbonato, cloreto, sódio e cálcio e dos metais alumínio, ferro, chumbo e zinco. Os vírus apresentam maior mobilidade do que as bactérias. A rocha-mãe está entre 9,0 e 20,5 m e o lençol freático, de porosidade primária granular, encontra-se entre 4,0 e 16,0 m de profundidade. A condutividade hidráulica varia entre $2,90 \times 10^{-8}$ e $8,41 \times 10^{-5}$ m/s e o gradiente hidráulico é cerca de 0,07 m/m. A velocidade linear média foi é 8 cm/dia.
Migliorini	São Paulo, Brasil	2002	763.175 m <sup>2</sup> , altitude entre 715 e 900 m e relevo suave. Clima tropical de altitude, temperatura média anual de 18 °C, precipitação média de 1.520 mm/ano, evaporação média de 940 mm/ano, escoamento de base de 530 mm/ano e escoamento superficial de 320 mm/ano.	Composição química da água subterrânea. Estudos geofísicos.	A UC está situada em sedimentos terciários onde predominam argilas, siltes e areias finas, sendo rara a ocorrência de areias grossas e cascalho. O pacote sedimentar tem entre 35,0 e 40,0 m e o NF encontra-se entre 4,0 e 12,0 m de profundidade. Nos poços de monitorização encontrou-se água entre 0,0 e 5,5 m de profundidade, sugerindo a existência de aquíferos suspensos. O sistema aquífero é livre, podendo apresentar confinamentos locais devido a intercalações argilosas. Aumento da concentração total de iões na água subterrânea e concentrações excessivas de compostos azotados. Aparecimento dos metais manganês, cromo, ferro, alumínio e prata, em níveis superiores aos VMA.

Tabela 11: Análise de Estudos de Caso com Impactes Ambientais Negativos IV

Autor	Local	Ano	Características locais	Tipo de análise	Resultados
Rodrigues	Algarve e Minho, Portugal	2002	A UCQ e a UCLT estão em região de clima mediterrâneo, com temperatura média anual elevada e regime de precipitação irregular. UCS está junto ao litoral, numa região de clima temperado, húmido e chuvoso, com precipitação média de 1.070 mm/ano e o período de amostragem foi chuvoso.	Composição físico-química e bacteriológica da água subterrânea para as 3 UC. Prospeção geofísica na área envolvente à UCQ.	Os resultados da UCQ não revelaram resultados conclusivos quanto à origem da contaminação mas apontam para índices elevados de contaminação química e bacteriológica. Na UCLT e na UCS as análises revelaram índices de contaminação superiores aos da envolvente, sendo indicativo de contaminação pela UC. A UCQ está numa área constituída por sedimentos carbonatados muito permeáveis e produtivos devido à elevada fracturação e carsificação. O sistema aquífero é cársico livre a confinado, com captações a jusante da UC, sendo a zona de vulnerabilidade elevada. A zona é constituída por solos calcários permeáveis. A porosidade tem efeito positivo no arejamento e infiltração. Tem baixa capacidade de armazenamento e espessura do solo pequena. A saturação em base do complexo de adsorção é 100 % e a sua capacidade de permuta catiónica é baixa. Fixação elevada de fósforo e potássio. Os resultados não foram conclusivos quanto à influência da UC na contaminação da água subterrânea, devido ao elevado número de fossas sépticas na vizinhança. A UCLT encontra-se em formações argilosas que se sobrepõem a calcários carsificados. Está localizado num sistema multiaquífero, podendo haver conexão hidráulica entre camadas. O aquífero superior é poroso e livre e está em formações terciárias de arenitos, argilitos e siltes na camada superior. O aquífero inferior é cársico semi-confinado a confinado e está em calcários calciclásticos, bioclásticos e oolíticos, com raras intercalações margosas. A UC está em zona de vulnerabilidade média. Os solos são mediterrânicos, arenosos e com elementos calcários com porosidade, volume de água e condutividade hidráulica baixos, sem drenagem interna, pH ligeiramente alcalino, passando a ácido a profundidade superior a 45,0 m. Na camada superficial saturada, a ocupação de cálcio magnésio e potássio é ótima, existe grande reserva de potássio e o fósforo diminui com a profundidade. A UCS encontra-se em formações xistosas e quartezíticas. O lençol freático encontra-se próximo à base das sepulturas e a zona não saturada tem pequena espessura. Na UCLT e na UCS, as análises bacteriológicas indicam presença de contaminação maior do que na envolvente.

Tabela 12: Análise de Estudos de Caso com Impactes Ambientais Negativos V

Autor	Local	Ano	Características locais	Tipo de análise	Resultados
Lima <i>et al.</i>	Barcelos, Portugal	2003	Presença de granitóides biolíticos com plagioclase cálcica. O substrato granítico encontra-se alterado, dando origem a mantos descontínuos. A precipitação média é de 1.650 mm/ano, a evapotranspiração efectiva é 745 mm/ano, o escoamento superficial é 492 mm/ano e o escoamento subterrâneo é 413 mm/ano.	Caracterização hidrogeológica da região de modo a aferir a sua susceptibilidade à contaminação. Análise físico-química da água subterrânea.	A área destinada à UC é atravessada por uma falha que constitui o eixo preferencial do escoamento subterrâneo, tornando a zona muito vulnerável. A permeabilidade do solo varia entre 0,1 e 4,3 m/d. O gradiente hidráulico nas imediações é 0,144 e o lençol freático encontra-se a 9,0 m de profundidade, apresentando flutuações sazonais significativas. A água subterrânea é cloretada sódica podendo ser bicarbonatada sódica ou mesmo bicarbonatada cálcica. A mineralização desta água deve-se à concentração por evaporação da água de infiltração, interacção água-rocha e influência antropogénica. Os teores de sódio, alumínio, zinco, nitrato, fosfato e cloreto ultrapassam os VLA para água para consumo humano. Por se tratar de uma zona de recarga, com o substrato bastante meteorizado, e por a água subterrânea escoar para jusante do local, a área é desfavorável à instalação da UC.
Senos Matias <i>et al.</i>	Aveiro, Portugal	2004	Foram analisadas 2 UC, separadas por 5 km, localizados sobre dunas de areia eólica com algumas intercalações de finas camadas de lama a diferentes profundidades. A precipitação média é 900 mm/ano e a infiltração é estimada em 400 mm/ano. A permeabilidade da areia de duna varia entre 25 e 40 m/d e a argila é impermeável. A região é plana e a altitude da UCGC é 9,0 m e da UCGE é de 7,0 m.	Métodos geofísicos para localizar a pluma de contaminação. Análise química à água subterrânea.	Existe um aquífero não confinado nas dunas de areia, em contacto directo com os lixiviados da UC, e aquíferos confinados e semi-confinados abaixo das camadas de lama. Na UCGE a água subterrânea está a 1,5 m e na UCGC a 3,0 m. As inunicações nestas UC são feitas a 1,2 m. A pluma de contaminação é mais evidente na UCGE devido à água subterrânea estar a menor profundidade. Na UCGE as formações são mais resistivas, o que ser resultado da contaminação pela UC. Na zona contaminada foram encontrados valores elevados de pH, NO <sub>3</sub> , PO <sub>4</sub> , SO <sub>4</sub> , Mg, K, Na e condutividade hidráulica. Os valores de Fe eram baixos. Existe contaminação devido à UCGE. No caso da UCGC, é esperado menor grau de contaminação devido à maior profundidade da água subterrânea.
Lentz	São Paulo, Brasil	2005		Composição química e microbiológica de roupas e madeira de exumações.	Os parâmetros químicos e microbiológicos estavam abaixo dos VMA e os patogénicos encontrados são os mesmo que se encontram em amostras de madeira em branco. Os resíduos de inumação foram classificados como inertes, não perigosos.

Tabela 13: Análise de Estudos de Caso com Impactes Ambientais Negativos VI

Autor	Local	Ano	Características locais	Tipo de análise	Resultados
Almeida <i>et al.</i>	Juiz de Fora, Brasil	2005		Elementos químicos na água subterrânea.	Os resultados obtidos são indicativos de contaminação por lixiviados das 5 UC analisadas. Não se estudou a profundidade do lençol freático, a localização da pluma de contaminação nem o tipo de solo.
Espindula e Almeida <i>et al.</i>	Recife, Brasil	2004 e 2006	21.700 m <sup>2</sup> com 1.516 inundações/ano entre 0,6 e 0,8 m de profundidade. Jazigos subterrâneos até 1,5 m de profundidade. Precipitação média 2.451 mm/ano, evaporação média 1.323 mm/ano e temperatura média anual entre 26,6 e 23,9 °C.	Caracterização da água subterrânea abaixo da UC.	Sedimentos quaternários alterados pela acção dos rios. O interior da UC está sobre sedimentos cársicos não consolidados. Predominam areias finas e médias, areias siltosas, areias argilosas e areias silte-argilosas. O potássio e os metais ferro, cádmio, manganês e chumbo encontram-se acima do VMA. Foram encontradas concentrações elevadas de todos os indicadores microbiológicos, principalmente BH e BP. Verifica-se antagonismo entre CT e <i>P. aeruginosa</i> . O NF no interior da UC está a 2,9 m, o que não impediu a contaminação por microrganismos. Em zonas com sepulturas com menos de 1 ano as concentrações são mais elevadas. A UC pode contribuir para a contaminação do aquífero.
Sória et al.	Pelotas, RS, Brasil	2006	Área de 15.400 m <sup>2</sup> .	Análise da qualidade da água nas valetas internas e externas à UC.	As amostras confirmam a presença de organismos patogénicos. A população refere que nos últimos anos ocorreu hepatite A, ascaridíase, leptospirose, infecções na pele, infecções oculares e disenteria, mas não existem registos médios que permitam tirar conclusões sobre a sua origem.
Braz <i>et al.</i>	Belém, Brasil	2007	Depósitos quaternários na parte superior, composição arenosa e NF a menos de 10 m de profundidade.	Presença de contaminação 3 após desactivação.	Foram encontrados elevados níveis de contaminação da água por CT, CF, EF, BH e <i>Salmonella</i> . Foram encontrados CSR que sugerem a contaminação por miasma. A unidade tinha 30.000 sepulturas temporárias ocupadas. No Inverno era comum a subida do NF e consequente inundação de sepulturas. A saponificação justifica a contaminação mais recente. Há risco de contaminação das águas subterrâneas devido à má construção de poços na vizinhança.
Barros <i>et al.</i>	Curitiba, PR, Brasil	2008	Declive superior a 10 % e regolito a 1,2 m de profundidade. No nível mais baixo do terreno, o NF encontra-se entre 0,9 e 1,4 m.	Estudo mineralógico da fracção de argila, teores de metais pesados e estimativa do risco de contaminação.	Os solos predominantes são depósitos não consolidados de argilitos e arenitos, com elevada capacidade de permuta cationica. Na área das sepulturas perpétuas os solos apresentam maiores teores de metais pesados, principalmente crómio e chumbo. A menor contaminação na área de sepulturas temporárias pode ser atribuída à maior simplicidade das inundações. Não se verificou efeito da rocha-mãe e dos atributos químicos e mineralógicos do solo sobre a acumulação de metais pesados, reflexo da contaminação mais intensa em apenas alguns pontos de amostragem e camadas do solo.

Tabela 14: Análise de Estudos de Caso com Impactes Ambientais Negativos VII

Autor	Local	Ano	Características locais	Tipo de análise	Resultados
Castro	Fortaleza, Ceará, Brasil	2008	Ocupa 800.000 m <sup>2</sup> e tem capacidade para 51.000 inumações. As sepulturas estão a 1,8 m de profundidade e em cada uma são dispostas 3 urnas de 0,5 m de altura, separadas por uma laje. Clima quente com regime de chuvas tropicais.	Determinação do contexto geológico, geomorfológico e hidrogeológico em que a UC se insere.	As únicas fontes potenciais de contaminação são a UC e fossas sépticas. As cotas altimétricas variam entre 17,0 e 37,0 m e a UC encontra-se 10,0 m acima da envolvente. As áreas mais elevadas são cobertas por areia argilosa fina a média, sobreposta a uma camada de argila arenosa e a camada mais basal é composta por cascalho com intercalações de níveis mais argilosos. O substrato constitui um aquífero livre argilo-arenoso, pouco espesso, de baixa permeabilidade e formado pelo intemperismo das rochas granito-gnaissicas, sendo desfavorável à captação. A camada de regolito tem entre 2,0 e 16,0 m e o NF encontra-se a 10,0 m na zona central e pode atingir 0,5 m nas zonas menos elevadas. O pH médio da água é 7,8, sendo menor na zona central da UC. A CE, alcalinidade, dureza total, teor de matéria orgânica, sólidos dissolvidos e SST, são maiores na envolvente do que no interior da UC, indicando pouca ou nenhuma influência da decomposição. As águas são classificadas como cloretadas sódicas no interior da UC e no exterior cloretadas ou bicarbonatadas mistas, cálcicas ou magnesianas ou cloretadas sódicas. Tal composição dever-se-á aos aerossóis marinhos. Todos os indicadores bacteriológicos apresentam concentrações muito elevadas, excepto CSR. As BH aeróbias ocorrem duas vezes mais do que as BH anaeróbias e estão mais elevadas no interior da UC. As BP estão em maior número no exterior da UC.

## Legenda:

SST – Sólidos Suspensos Totais

VMA – Valor Máximo Admissível, segundo o DL n.º 236/98 (aqui referido a água para consumo humano)

BH – Bactérias Heterotróficas

BP – Bactérias Proteolíticas

CSR – Clostrídios Sulfito Redutores

CT – Coliformes Totais

CF – Coliformes Fecais

EF – Streptococos Fecais

NF – Nível Freático

CE – Condutividade Eléctrica

UCVF – UC Vila Formosa

UCVNC – UC Vila Nova Cachoeirinha

UCAB – UC Areia Branca

UCQ – UC Querença

UCCLT – UC Luz de Tavira

UCS – UC Seixas

UCGE – UC Gafanha da Encarnação

UCGC – UC Gafanha do Carmo



## 19. Conclusões e Recomendações

Os principais impactes resultantes da actividade de UC devem-se à sua indevida instalação, operação e/ou gestão. Os maiores problemas encontram-se em UC de grande densidade de inumações e com níveis freáticos superficiais.

A temperatura óptima para a transformação e actividade microbiana está entre 25 e 35 °C. O arejamento deve propiciar as condições aeróbias necessárias às bactérias aeróbias decompositoras de matéria orgânica. A humidade relativa deve ser tal que a acção microbiana seja maximizada. Este teor não é bem conhecido mas quando há humidade reduzida ou em excesso observam-se fenómenos conservativos. A distância entre o fundo da sepultura e o nível freático tem que ser suficiente para neutralizar os contaminantes. Esta camada não saturada deve ter baixa porosidade e textura fina de modo a maximizar a retenção de contaminantes. As melhores condições para instalação de UC encontram-se em materiais de mineralogia variada, ou seja, solos homogéneos com percentagens equilibradas de areia, silte e argila, pois combinam a facilidade de decomposição com a dificuldade de libertação de odores.

Subsolos de granulometria grosseira, com mineralogia restrita, muito fracturados ou fissurados devem ser rejeitados pois oferecem poucas oportunidades de atenuação.

A adequabilidade de um local para a instalação de UC deve ser alvo de estudos para que se garanta a sua sustentabilidade e a protecção do ambiente. É essencial que haja uma Avaliação Ambiental Estratégica de todos os possíveis locais para instalação destas unidades, atendendo ao nível de acção (local, regional, distrital, por exemplo) e ao tipo de UC pretendida (pequena, média ou grande dimensão, ampliação, transladação/deslocação). Nos planos municipais ou distritais de emergência devem ser incluídos planos de contingência que devem atender ao *buffer* de cada UC. Devem ser feitos estudos de avaliação, análise e auditoria nas UC em funcionamento. Os estudos devem abranger factores geológicos, hidrogeológicos e climáticos da região e ainda aspectos religiosos, culturais, ergonómicos, socioeconómicos, recursos humanos, saúde ocupacional e recursos mecânicos. Estes devem ser analisados num plano individual dado que em Portugal existem numerosos tipos de solo, níveis freáticos e condições climáticas, não se podendo uniformizar casos de estudo. Após a avaliação e escolha do local mais adequado, deverão ser analisadas as possíveis correcções ao local e medidas limitadoras do potencial de poluição e de adaptação às condições geoambientais, com o intuito de obtenção de licenciamento ambiental. As UC devem ter planos de monitorização, de vacinação, de acompanhamento psicológico dos funcionários, de acompanhamento de familiares das vítimas e devem aplicar as melhores técnicas disponíveis para protecção ambiental. Os funcionários das UC devem ser incluídos nas listas de trabalhadores expostos a agentes biológicos. A elaboração de estudos deve ser realizada por profissionais qualificados, bem como o acompanhamento rigoroso e permanente do funcionamento de toda a UC.

Para que tal seja possível, torna-se fundamental a publicação de legislação específica e de normas e procedimentos para a instalação, operação e gestão de UC, visando a protecção e prevenção de riscos ambientais e de saúde pública. A obrigatoriedade de apresentar relatórios de qualidade é fundamental para garantir a protecção ambiental e o funcionamento adequado.

As UC em funcionamento devem ser alvo de estudos para determinar de forma precisa os seus impactes e ponderar os processos dinâmicos de forma a prever a evolução e determinar os meios de prevenção, controle e correcção.. Só assim será possível encontrar



medidas técnicas adequadas para eliminar os riscos e minimizar o período de decomposição., ou seja, este é um meio de evitar repetir erros do passado.

Os actuais planos de monitorização da qualidade da água subterrânea não são satisfatórios pois existe uma grande diversidade de espécies patogénicas e químicas que não são incluídas e podem representar sérios riscos. É necessário promover o estudo qualificado de todos os produtos gerados na decomposição de cadáveres e dos materiais utilizados nas práticas funerárias. A título de exemplo, a cadaverina e a putrescina raramente são analisadas apesar de serem bons indicadores de contaminação por miasma.

Uma gestão eficiente de uma UC pode reduzir os custos de operação e manutenção, passando pela inserção de técnicos superiores do ambiente. A implementação de sistemas de gestão ambiental (SGA) e a procura da certificação ambiental devem ser incentivadas num âmbito legislativo. Todos os planos anteriormente referidos devem fazer parte do SGA.

Tudo isto só será alcançado através de uma mudança e integração de mentalidades dispersas, tais como Autarquias, profissionais da actividade funerária, entidades religiosas, técnicos superiores de diversas áreas (por exemplo, engenharia e arquitectura) e principalmente da população. O que se aplica a novas UC deve também ser adoptado pelas UC já em funcionamento.

## 20. Bibliografia

- Almeida, A. M., Macêdo, J. A. B., Parâmetros físico-químicos de caracterização da contaminação do lençol freático por necrochorume. Seminário de Gestão ambiental - Um convite à interdisciplinariedade, Instituto Vianna Júnior, Juíz de Fora, MG, Brasil, 2005.
- Barbosa, M. C., Coelho, H., Impacte ambiental dos Cemitérios Horizontais e sua Relação com o Controle Sanitário nas Áreas Urbanas. Portal de Biossegurança Hospitalar, Brasil, 2002.
- Barros, Y. J., et al., 2008. Teores de metais pesados e caracterização mineralógica de solos do cemitério municipal de Santa Cândida, Curitiba (PR). Revista Brasileira De Ciencia Do Solo. 32.
- Bonaccorso, R., Tanatologia Forense. Associação dos Delegados de Policia do Estado de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2005.
- Braga, A. C. O., Detecção, Avaliação e Tratamento de Contaminação de Recursos Hídricos. Suplemento 1 - III Workshop de Ecotoxicologia, Vol. 8. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Campus Rio Claro, SP, Brasil, 2008.
- Câmara Municipal da Póvoa do Varzim, Mapa da Relação dos Cemitérios Parochiaese Municipaes do Concelho (1 de Fevereiro de 1858).
- Campos, A. P. S., Avaliação do potencial de poluição no solo e nas águas subterrâneas decorrente da actividade cemiterial. Faculdade de Saúde Pública. Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2007, pp. 141.
- Centirión, R., 1994. Impactos Ambientais de Cemitérios. L. A. Falcão Bauer Engenharia.
- Charbeneau, R. J., 2000. Groundwater hydraulics and pollutant transport. Prentice Hall Inc., USA.
- Conselho Alemão de Municípios, Seminário da Associação Alemã dos Arquitectos Paisagistas (BGDA). Friedhofsplaning (Projectar Cemitérios), Alemanha, 1968.
- Costa, D. S. C. d., Souza, R. M. d., Os Potenciais Impactos Ambientais Causados pelos Cemitérios: Necessidade de Políticas Públicas. Forum Ambiental da Alta Paulista. Eixo Temático – Política Públicas, Ambiente e Sociedade, Vol. Volume III. ANAP - Associação Amigos da Natureza da Alta Paulista, Brasil, 2007, pp. 12.
- Demiryürek, D., et al., 2002. Infective Agents in Fixed Human Cadavers: A Brief Review and Suggested Guidelones.
- Dent, B. B., et al., 2004. Review of human decomposition processes in soil. Environmental Geology. 45, 576-585.
- Dent, B. B., Knight, M. J., Cemeteries: A special kind of landfill. The context of their sustainable management., National Centre for Groundwater Management. University of Technology, Sydney, Australia, 2007.
- Dinis, A., Fraga, H., 2005. Poluição de solos: riscos e consequências. Revista da Faculdade de Ciência e Tecnologia. 2, 10.
- Dr<sup>a</sup> Maria Cristina Gonçalves Neto, Apontamentos Sumários sobre o Ritual Funerário em Portugal.
- Duse, A. G., Infectious Hazards in the Work Environment. MPH - Distance Learning Course. Department of Clinical Microbiology and Infectious Diseases, NHLS and Wits School of Pathology, 2002.
- Environment Agency, Assessing the Groundwater Pollution Potential of Cemetery Developments. Environment Agency, Bristol, United Kingdom, 2004.

- FEUP, Propriedades, índice e classificação das rochas. Apontamentos da disciplina de Geologia e Engenharia, 2009.
- Fiedler, S., et al., 2004. Characterization of soils containing adipocere. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 47, 561-568.
- Forbes, S. L., et al., 2005a. The effect of the burial environment on adipocere formation. *Forensic Science International*. 154, 24-34.
- Forbes, S. L., et al., 2005b. The effect of the method of burial on adipocere formation. *Forensic Science International*. 154, 44-52.
- FUNASA, Cemitérios como Fonte Potencial de Contaminação das Águas Subterrâneas: Região de Cuiabá e Várzea Grande/MT. Funasa – Fundação Nacional de Saúde, Ministério da Saúde, Brasília, Brasil, 2007.
- Galvão, M. F., Tanatologia. Faculdade de Medicina da Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, 1994.
- Goyet, C. d. V. d., 2004. Epidemics caused by dead bodies. a disaster myth that does not want to die. *Revista Panamericana de Salud Publica*. 15.
- Haddad, W., Chiacchio, S. S., Impacto Ambiental Causado por Cemitérios. Centro Universitário Senac, Faculdade de Tecnologia de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2005.
- Holdgate, M. W., et al., Targets of Pollutants in the Atmosphere [and Discussion] *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences. Pathways of Pollutants in the Atmosphere Vol. 290*. The Royal Society, 1979, pp. 17.
- Huang, S. C. L., 2007. Intentions for the recreational use of public landscaped cemeteries in Taiwan. *Landscape Research*. 32, 207-223.
- Hudak, P. F., 1999. Principles of Hydrogeology. Lewis Publishers, USA.
- Instituto da Água, 2002. Plano Nacional da Água. Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território.
- Jornal de Notícias, 2009. Suplemento: Agentes Funerários - A caminho da desejada profissionalização. *Jornal de Notícias*. 281.
- Leitão, T. E., et al., Anexo I - Síntese dos principais processos de transporte de poluentes em meio subterrâneo. In: INAG, (Ed.), Avaliação e gestão ambiental das águas de escorrência de estradas - Relatório final, 2006.
- Lopes, J. L., Cemitério e seus impactos ambientais. Estudo de caso: Cemitério Municipal do Distrito de Catuçaba/SP. Centro Universitário SENAC, São Paulo, Brasil, 2007, pp. 17.
- Magela, A. L., A Higiene e a Morte - O Miasma e a Onda do Pútrido. 2008, pp. Usina de Letras.
- Marques da Silva, Apontamentos da Disciplina de Hidrologia. Universidade de Aveiro, Aveiro, 2003.
- Martins, M. T., et al., 1991. Qualidade bacteriológica de águas subterrâneas em cemitérios. *Revista De Saude Publica*. 25.
- Matos, B. A., Avaliação da Ocorrência e do Transporte de Microrganismos no Aquífero Freático de Vila Nova Cachoeirinha, Município de São Paulo. Instituto de Geociências, Vol. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2001, pp. 113.
- Mendonça, J. L., Caracterização Hidrogeológica e Contaminações de alguns Sistemas Aquíferos de Portugal. 4º Congresso da Água, Vol. Tema 5 - Utilização da água em

- actividades produtivas - agricultura, aquicultura, indústria e turismo, Feira Internacional de Lisboa, Lisboa, 1998, pp. 11.
- Migliorini, R. B., et al., Aquífero Guarani - Educação Ambiental para a sua preservação na região do Planalto de Guimarães. Vol. Projecto Fundo Guarani da Cidadania. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, Cuiabá, Brasil, 2007.
- Pacheco, A., Os Cemitérios e o Ambiente. 2006.
- Pacheco, A., et al., Cemeteries - A Potencial Risk To Groundwater. International Seminar on Pollution, Protection and Control of Groundwater, Porto Alegre, Brazil, 1990, pp. 97-104.
- Pacheco, A., Saraiva, F. A., Normas a que deve obedecer a escolha dos terrenos para a instalação de cemitérios públicos em Portugal - comentários técnicos e licenciamento ambiental. Tecnologias do Ambiente, Vol. n. 65 ano 12, Portugal, 2005.
- Peters, N. E., Meybeck, M., 2000. Water Quality Degradation Effects on Freshwater Availability: Impacts of Human Activities. Water International. 25.
- Pires, A. S., Garcias, C. M., São os Cemitérios a Melhor Solução para a Destinação Final dos Mortos? , IV Encontro Nacional da Annpas - 4, 5 e 6 de Junho, Brasília - DF - Brasil, 2008.
- Raúl António, S. D., Prospeção e Captação de Águas Subterrâneas em Terrenos Vulcânicos - Arquipélago da Madeira. In: A. P. d. R. Hídricos, (Ed.), 4º Congresso da Água - A Água como Recurso Estruturante do Desenvolvimento” Coimbra, 1998.
- Ribeiro, I. P., et al., Investigação Médico-Legal da Morte – A Verificação e Certificação do Óbito – Sinais Negativos de Vida e Positivos de Morte. Faculdade de Medicina da Universidade de Lisboa, Lisboa, 2007.
- Rocha, A. J. F., et al., 2005. Contaminação do Solo pela Disposição e Destino Final de Matéria Orgânica Fresca. Revista CENIC Ciências Biológicas. 36, 9.
- Rodrigues, L. d. F. S. P., Avaliação dos riscos de contaminação das águas subterrâneas por cemitérios - Casos de estudo. Faculdade de Ciências. Universidade do Porto, Porto, 2002, pp. 134.
- Romanó, E. N. d. L., Cemitérios: Passivo Ambiental Medidas Preventivas e Mitigadoras. Instituto Ambiental do Paraná, Ponta Grossa, PR, Brasil, 2005.
- Russo, M. A. T., Tratamento de Resíduos Sólidos. Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade de Coimbra, Coimbra, 2003, pp. 196.
- Serra, A. I. S., Cemitérios e Meio Ambiente. Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Independente, Lisboa, 2000.
- Silva, F. C., Importância da Água em Saúde Pública, Saneamento Básico – Abastecimento de Água. Faculdade de Ciências Humanas da Universidade Católica Portuguesa, Braga, 2005.
- Silva, V. T. d., et al., Um Olhar Sobre as Necrópoles e seus Impactos Ambientais. III Encontro da ANPPAS, 23 a 26 de Maio de 2006. ANPPAS - Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Ambiente e Sociedade, Brasília, DF, Brasil, 2006.
- Sobrinho, B. M. d. R., Cemitério e meio ambiente. Vol. IV Curso de Especialização em Gerenciamento Ambiental. Universidade Católica do Salvador, Salvador, Bahia, Brasil, 2002.
- Sousa, J. P., 2005. Doenças Profissionais Causadas por Agentes Biológicos. Revista Proelium 8, 21.

- Üçisik, A. S., Rushbrook, P., The impact of cemeteries on the environment and public health. Vol. Waste Managment and Soil Pollution. World Health Organization, Copenhagen, Dinamarca, 1998, pp. 11.
- Vezzani, D., 2007. Review: Artificial container-breeding mosquitoes and cemeteries: a perfect match. Tropical Medicine and International Health. 12.
- Viegas, V., et al., A Direcção-Geral da Saúde – Notas Históricas. Direcção Geral de Saúde, Lisboa, 2006.
- World Health Organization, Health Impacts of health-care waste. In: A. Prüss, et al., Eds.), Safe management of wastes from healthcare activities, 1999, pp. 20-30.
- Young, C. P., et al., Pollution Potencial of Cemeteries - Draft Guidance. R&D Technical Report P223. Environment Agency, Bristol, UK, 1999.
- Zoby, J. L. G., Oliveira, F. R. d., Panorama das Águas Subterrâneas no Brasil. In: A. N. d. Á.-M. d. M. Ambiente, (Ed.). Agência Nacional das Águas, Brasília, DF, Brasil, 2005.

#### **URL (Localizar de Recursos Universal):**

- Agência Portuguesa do Ambiente (Março, Abril e Maio, 2009)  
[www.apambiente.pt](http://www.apambiente.pt)  
<http://siddamb.apambiente.pt>
- Association of Significant Cemeteries in Europe (Maio, 2009)  
<http://www.significantcemeteries.org>
- Ciência Viva – Agência Nacional para a Cultura Científica e Tecnológico (Abril, 2009)  
[www.cienciaviva.pt](http://www.cienciaviva.pt)
- COFAGRI (Março, 2009)  
[www.cofagri.pt](http://www.cofagri.pt)
- Construir Ideias – Plataforma de Reflexão Estratégica (Abril, 2009)  
[www.construirideias.pt](http://www.construirideias.pt)
- Dicionário Houaiss (Maio, 2009)  
<http://portal.doc.ua.pt/houaiss/cgi-bin/houaissnetb.dll/frame>
- Diário da República – DPROT (Março, Abril e Maio, 2009)  
<http://diario.vlex.pt>
- Direito da República Electrónico (Março, Abril e Maio, 2009)  
[www.dre.pt](http://www.dre.pt)
- Eco Friendly Funerals (Fevereiro, 2009)  
[www.ecofunerals.co.nz](http://www.ecofunerals.co.nz)
- EUR-Lex (Março, Abril e Maio, 2009)  
<http://eur-lex.europa.eu/>

- Funerária Alves, Agência Funerária Lda. (Fevereiro, 2009)  
[www.agencia-funeraria-alves.pt](http://www.agencia-funeraria-alves.pt)
- Galport (Maio, 1009)  
[www.galport.com](http://www.galport.com)
- Green Lane Burial Field (Fevereiro, 2009)  
[www.greenlaneburialfield.co.uk](http://www.greenlaneburialfield.co.uk)
- Infopédia – Dicionários e Enciclopédias em Língua Portuguesa (Maio, 2009)  
[www.infopedia.pt](http://www.infopedia.pt)
- Instituto da Água (Março, Abril e Maio, 2009)  
[www.inag.pt](http://www.inag.pt)
- Living Legacies (Fevereiro, 2009)  
[www.livinglegacies.co.nz](http://www.livinglegacies.co.nz)
- Médicos de Portugal (Fevereiro, 2009)  
<http://medicosdeportugal.saude.sapo.pt/>
- Memorial Parks S. A. (Maio, 2009)  
[www.memorial-parks.com](http://www.memorial-parks.com)
- National Funeral Directors Association (Fevereiro, 2009)  
[www.nfda.org](http://www.nfda.org)
- Necropolis, Lda (Fevereiro, 2009)  
[www.necropolis.pt](http://www.necropolis.pt)
- OnEarth Austrália – Environmentally Friendly Choice (Fevereiro, 2009)  
[www.onearth.com.au](http://www.onearth.com.au)
- Online Textbook of Bacteriology (Maio, 2009)  
<http://www.textbookofbacteriology.net/>
- Portal de Saúde Pública (Abril, 2009)  
[www.saudepublica.web.pt](http://www.saudepublica.web.pt)
- Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (Março, 2009)  
<http://snirh.pt>
- Universidade de São Paulo (Março, 2009)  
[www.usp.br](http://www.usp.br)

## 21. Legislação

(Fontes: [www.dre.pt](http://www.dre.pt) e <http://eur-lex.europa.eu/>)

- Assembleia da República
  - Lei n.º 7/95, de 29 de Março
  - Lei n.º 141/99, de 28 de Agosto
  - Lei n.º 5-A/2001, de 11 de Janeiro
  - Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro
- Comissão das Comunidades Europeias
  - Directiva 95/30/CE, de 30 de Junho
  - Directiva 97/59/CE, de 7 de Outubro
- Conselho das Comunidades Europeias
  - Directiva 86/280/CEE, de 12 de Junho
  - Directiva 88/347/CEE, de 16 de Junho
  - Directiva 90/679/CEE, de 26 de Novembro
  - Directiva 91/689/CE, de 12 de Dezembro
  - Directiva 96/61/CE, de 24 de Setembro
- Ministério da Administração Interna
  - Decreto-Lei (DL) n.º 274/82, de 14 de Julho
- Ministério da Saúde
  - DL n.º 411/98, de 30 de Dezembro
  - DL n.º 5/2000, de 29 de Janeiro
  - DL n.º 138/2000, de 13 de Julho
- Ministério das Obras Públicas – Gabinete do Ministro
  - Decreto n.º 44220, de 3 de Março de 1962
- Ministérios das Obras Públicas, Transportes e Comunicações
  - DL n.º 58/2005, de 4 de Março
- Ministério do Ambiente
  - DL n.º 236/98, de 1 de Agosto
  - DL n.º 56/99, de 26 de Fevereiro
  - DL n.º 382/99, de 22 de Setembro
- Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional
  - DL n.º 131/2005, de 16 de Agosto
  - DL n.º 77/2006, de 30 de Março
  - DL n.º 226-A/2007, de 31 de Maio
  - DL n.º 147/2008, de 29 de Julho
  - DL n.º 208/2008, de 28 de Outubro

- Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território
  - DL n.º 194/2000, de 21 de Agosto
- Ministério do Emprego e da Segurança Social
  - DL n.º 441/91, de 14 de Novembro
  - DL n.º 26/94, de 1 de Fevereiro
- Ministério do Trabalho e da Solidariedade
  - DL n.º 109/2000, de 30 de Junho
  - Decreto Regulamentar n.º 6/2001, de 5 de Maio
  - DL n.º 29/2002, de 14 de Fevereiro
- Ministério para a Qualificação e o Emprego
  - DL n.º 84/97, de 16 de Abril
- Ministérios da Saúde e do Trabalho e da Solidariedade
  - Portaria n.º 405/98, de 11 de Julho
  - Portaria n.º 1036/98, de 15 de Dezembro
- Ministérios do Interior, das Obras Públicas e da Saúde e Assistência
  - Decreto n.º 45864, de 12 de Agosto de 1964
- Ministérios do Interior e da Saúde e Assistência
  - Decreto n.º 48770, de 18 de Dezembro de 1968
- Ministérios da Economia, da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e Pescas, da Saúde e das Cidades e do Ordenamento do Território e Ambiente
  - Portaria n.º 209/2004, de 3 de Março
- Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia
  - Directiva 2000/54/CE, de 18 de Setembro
  - Directiva 2000/60/CE, de 23 de Outubro
  - Directiva 2006/118/CE, de 12 de Dezembro
- Resolução do Conselho de Ministros
  - RCM n.º 113/2005, de 30 de Junho